



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta textilní



HODNOCENÍ SMĚROVÉHO USPOŘÁDÁNÍ VLÁKEN V PLOŠE VLÁKENNÉHO SYSTÉMU

Diplomová práce

Studijní program: N3957 – Průmyslové inženýrství
Studijní obor: 3911T023 – Řízení jakosti

Autor práce: Pavel Hájek
Vedoucí práce: doc. Ing. Maroš Tunák, Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Textile Engineering



EVALUATION OF FIBERS DIRECTIONAL ORIENTATION IN AREA OF FIBERS SYSTEM

Diploma thesis

Study programme: N3957 – Industrial Engineering
Study branch: 3911T023 – Quality Control

Author: Pavel Hájek
Supervisor: doc. Ing. Maroš Tunák, Ph.D.

Liberec 2014



ZADÁNÍ

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

PODĚKOVÁNÍ

V této části bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Marošovi Tunákovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, rady, trpělivost a čas, který mi věnoval. Za velkou podporu během studia a vzniku této práce bych chtěl také poděkovat celé mé rodině a všem svým blízkým.

ANOTACE

V této práci je navržena metodika hodnocení směrového uspořádání vláken v ploše vlákenného systému za pomoci obrazové analýzy. Princip metodiky spočívá v systematickém procházení obrazu testovacím oknem, které je následně rozděleno na podokna. V jednotlivých podoknech je odhadnuta směrová orientace vláken pomocí 2D Fourierovy transformace. Napočtené četnosti směrů vláken jsou rozděleny do tříd, které jsou poté pomocí χ^2 testu dobré shody porovnávány s očekávanými četnostmi. Dále je na základě testu určeno, zda mají v testovém okně objekty očekávané směrové rozložení. V rámci ověření efektivity je metodika nejprve aplikována na vytvořené sady generovaných obrazů. Způsob generování obrazů simulovaného vlákenného systému je založen na náhodném generování objektů, které reprezentují vlákna. Zmíněný způsob náhodného generování je založen na náhodném určení velikosti, polohy, orientaci a úrovni šedi objektu ze stanového rozdělení s definovanými parametry. Směrová orientace objektů je v sadách obrazů generována z rovnoměrného rozdělení. Výjimku tvoří vybrané oblasti, ve kterých je směrová orientace objektů generovaná ze stejného rozdělení, ale na jiném intervalu. V další části experimentu je zjišťováno, zda je za pomoci metodiky možné odhadnout směrové rozložení objektů v generovaných obrazech. V závěrečné části experimentu je metodika aplikována na obrazy reálné netkané textilie.

Klíčová slova:

netkané textilie, obrazová analýza, směrová orientace vláken, Fourierova transformace, chí – kvadrát test.

ANOTATION

Diploma work deals with suggested method of evaluation of fibers directional orientation in textile object system using image analysis. Principal of the method includes systematic moving of testing window through the image. The testing window is subsequently divided to several non – overlapping sub - windows. Estimation of fibers directional orientation in individual sub – windows is based on 2D Fourier transformation. Observed values of direction frequencies are divided to classes and they are compared with expected values according to goodness of fit test. Hereafter, the test determines whether the objects have an expected directional distribution in each of the sub – windows. For purpose of efficiency verification the method is firstly applied on the sets of generated images. The way of generating images of simulating fibers system is based on random generating of the objects which represent the fibers. The way of random generating of the images includes random determination of size, location, orientation and gray level of the objects according to expected distribution with defined parameters. Directional orientation of the objects in the sets of images is generated from uniform distribution. However, certain areas create exception. In these areas directional orientation of the objects is generated from the same distribution but on different interval. Possibility of estimation of the objects direction distribution in generated images with the help of the method is solved in next part of the work. The method is applied on real nonwoven textile images in final part of experiment.

Key words:

nonwoven textile, image analysis, directional orientation of fibers, Fourier transformation, chi-square test.

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk.....	10
1. Úvod.....	11
2. Shrnutí současného stavu.....	12
3. Netkané textilie.....	16
3.1 Příprava vláknenných vrstev.....	18
3.1.1 Mechanické způsoby přípravy vláknenných vrstev.....	18
3.1.2 Aerodynamická výroba vláknenné vrstvy.....	18
3.1.3 Mechnicko – aerodynamické postupy výroby rouna.....	19
3.1.4 Hydrodynamická výroba vláknenné vrstvy.....	19
3.1.5 Příprava vláknenných vrstev z taveniny polymeru.....	19
3.2 Zpevnění vláknenných vrstev.....	21
3.2.1 Mechanické způsoby zpevňování.....	21
3.2.2 Chemické způsoby zpevňování vláknenných vrstev.....	21
3.2.3 Termické způsoby zpevňování vláknenných vrstev.....	21
4. Digitální obraz.....	23
4.1 Druhy digitálních obrazů.....	24
4.1.1 Binární obraz.....	25
4.1.2 Monochromatický obraz.....	25
4.1.3 Barevný obraz.....	25
5. Generování testové sady obrazů.....	27
5.1 Postup při generování testových sad obrazů.....	27
5.1.1 Změna měřítka objektů.....	29
5.1.2 Rotace objektů.....	30
5.1.3 Posunutí (translace).....	31
5.1.4 Vyplnění obrazu odstíny šedi.....	32
5.2 Generování obrazů aproximujících textilií.....	33
5.3 Generované testové sady obrazů.....	35
6. Metodika určení orientace vláken.....	42
6.1 Odhad směrové orientace objektů.....	42
6.2 Hodnocení směrové orientace v ploše.....	46
6.3 Způsob vyhodnocení směrové orientace.....	47
6.4 Pearsonův χ^2 test dobré shody.....	47
6.4.1 Metody stanovení modelu očekávaných hodnot.....	48
7. Testování směrové orientace objektů generovaných sad obrazů.....	49
7.1 Testování obrazu se směrovým rozložením objektů $0^\circ - 180^\circ$	49
7.2 Vyhodnocení směrové orientace obrazu se směrovou orientací $0^\circ - 180^\circ$	52

7.3	Testování generovaných sad obrazů s různým rozložením směrů.....	54
7.3.1	Vyhodnocení směrové orientace obrazů testové sady s různým směrovým rozložením	59
8.	Testování generovaných obrazů aproximujících pás netkané textilie	60
8.1	Metodika sledování směrové homogenity v generovaném obrazu vláken	64
8.2	Vyhodnocení směrové orientace porovnáním s teoretickou distribucí.....	65
8.2.1	Testování obrazu s generovaným rovnoměrným rozložením směrů objektů	65
8.2.2	Testování obrazu s oblastí nerovnoměrného rozložení směrů objektů.....	67
8.3	Vyhodnocení směrové orientace porovnáním se standardem, vytvořeným z reprezentativního vzorku.....	76
8.3.1	Vypočtení očekávaných četností z reprezentativního vzorku.....	76
8.3.2	Testování obrazu s generovaným rovnoměrným rozložením směrů objektů	77
8.3.3	Testování obrazu s oblastí nerovnoměrného rozložení směrů objektů.....	79
8.4	Zhodnocení efektivity navržené metodiky	87
9.	Testování reálných vzorků netkané textilie	89
9.1	Vyhodnocení směrové orientace vzorku netkané textilie NT1	90
9.2	Vyhodnocení směrové orientace vzorku netkané textilie NT2	91
9.3	Zhodnocení výsledku testování navržené metodiky na obrazech netkané textilie	92
10.	Závěr	93
	Literatura.....	95
	Seznam příloh	97

Seznam použitých symbolů a zkratek

$f(x,y)$	Dvojměrná funkce souřadnic x, y
x, y	Souřadnice pixelu
M	Počet řádků matice
N	Počet sloupců matice
r	row – řádek matice
c	column – sloupec matice
$ozn.$	To znamená
$např.$	Například
<i>Pixel</i>	Picture element – obrazový prvek
<i>RGB</i>	R – Red, G – Green, B – Blue
<i>2D DFT</i>	Dvojměrná diskretní Fourierova transformace
σ^2	Rozptyl
$f(\alpha)$	Funkce úhlu α
<i>NT</i>	Netkaná textilie
T	Transformační matice
χ^2	Chí - kvadrát
<i>Obr</i>	Obrázek
v, w	Souřadnice pixelu po transformaci
u, v	Frekvenční proměnné
$P(u,v)$	Výkonové spektrum daného pixelu
$Q(u,v)$	Logaritmická transformace daného pixelu
H_0	Nulová hypotéza
H_1	Alternativní hypotéza
$F(u,v)$	Fourierovy koeficienty rozvoje
μ_{pq}	Centrální obrazový moment řádu $(p+q)$

1. Úvod

V současné době není již téměř možné nalézt oblast průmyslu, kde nejsou využívány vlákenné materiály. Své uplatnění nalézají nejen v oděvním průmyslu, ale i technickém (kompozity, geotextilie, textilie pro stavebnictví, automobilový průmysl, apod.). Vlastnosti vlákenných materiálu nezávisí pouze na materiálovém složení, nýbrž také na směrovém uspořádání vláken ve vlákenném systému. Směrová orientace vláken ovlivňuje především mechanické vlastnosti plošných textilií. Měření směrové orientace vláken je proto důležitou složkou kvantitativního měření v textilní metrologii.

Cílem této práce je navrhnout metodiku pro objektivní měření směrové orientace vláken netkaných textilií v rámci kontroly kvality během výroby. V současnosti jsou k vyhodnocení směrové orientace zpravidla využívány manuální metody, které jsou zatížené subjektivní chybou a jsou velice časově náročné.

V práci bude k odhadu směrové orientace vláken využita obrazová analýza, na jejímž základě bude zajištěno objektivní měření směrové orientace. Ze vstupního obrazu netkané textilie budou systematicky vybírány oblasti, které budou dále rozděleny na menší podokna. Ve všech podoknech bude vyhodnocena směrová orientace pomocí Fourierovy transformace. V každém podokně bude takto odhadnut preferovaný směr vláken. Z dat o preferovaném směru ze všech podoken bude odhadnuta hustota pravděpodobnosti rozložení směrů. Odhad hustoty rozložení směrů vláken bude pomocí χ^2 testu dobré shody porovnán s očekávanou hodnotou získanou z teoretické distribuce nebo napočtením z reprezentativního vzorku. Po vyhodnocení všech testovacích oken budou pomocí p – hodnoty určeny oblasti s jiným rozložením směrů vláken než je očekávané rozložení. Tímto způsobem bude možné sledovat tento znak jakosti při výrobě netkaných textilií.

Práce je strukturovaná do několika kapitol. V první kapitole budou analyzovány metody odhadu směrové orientace pomocí obrazové analýzy používané ve světě. Následující kapitola bude zaměřena na netkané textilie a technologie jejich výroby. V dalších dvou kapitolách bude charakterizován digitální obraz a způsob, kterým budou vytvořeny sady obrazů generovaného vlákenného systému. Následující kapitoly se zabývají testováním efektivity navržené metodiky na generovaných obrazech. Po ověření efektivity bude metodika aplikována na obrazy reálné netkané textilie.

2. Shrnutí současného stavu

Fyzikální vlastnosti textilií závisí jednak na použitém materiálu, ale i na směrové orientaci vláken. Orientace vláken ovlivňuje zejména vlastnosti jako je pevnost nebo tažnost textilie. Jejím zjišťováním se již zabývalo několik autorů. Stručný přehled studií bude uvedený v následujícím textu.

Ve studii [1] se autoři zabývají jednoduchou metodou stanovení anizotropie vláknenných systémů. Představovaná metoda je založena na Fourierově transformaci (*2D DFT*), kde hodnoty frekvenčních komponent ve Fourierově spektru jsou sčítané ve směru vektoru pro určitý úhel. Tuto metodu autoři aplikovali na šedotónové obrazy netkaných textilií. Největší výhodou této metody spočívá v její rychlosti. Výsledky jsou k dispozici bezprostředně po získání obrazu a spuštění algoritmu. Vizualizace výsledků je získána ve formě polárního diagramu a histogramu. Polární diagram lze chápat jako odhad růžice směrů. Díky navržené metodě je možné sledovat směry vektorů s úhlovým krokem 1° . Metoda může být použita i pro analýzu anizotropie jiných systémů.

Diplomová práce Štefaničové [2] se zabývá anizotropií neboli směrovým uspořádáním struktury vláknenných systémů. První část práce je zaměřena na testování odhadu anizotropie různými metodami. První testovanou metodou byl odhad směrového uspořádání vláken v podobě směrové růžice založené na grafické konstrukci Steinerova kompaktu. Další metody jsou založeny na *2D DFT* a to pomocí polárního diagramu, pomocí horizontálních a vertikálních histogramů a histogramu v polárních souřadnicích. Všechny metody jsou testovány na obrazech náhodných i pravidelných textur. Na základě teoretických poznatků je v druhé části práce navržena modifikovaná metoda pro odhad anizotropie vláknenných systémů, která je také založená na *2D DFT*. Navrhovaná metoda je následně použita při testování textilního materiálu v celé ploše obrazu. Testování je prováděno na obraze nanovláknenného materiálu a na dvou reálných netkaných textiliích.

Autoři studie [3] se zabývají možnostmi hodnocení strukturní anizotropie nebo směrového uspořádání textilních objektových systémů. V práci [3] autoři poukazují jak je kvalitativní hodnocení textilií důležité především kvůli stanovení mechanických vlastností textilií. Dvě metody, které se ve studii používají, jsou založeny na analýze obrazu. První metoda charakterizuje anizotropii hustotou délek nitě $f(\alpha)$ směřujících do úhlového rozmezí $\alpha \pm \alpha/2$. Funkce $f(\alpha)$ se označuje jako směrová růžice. Techniky využívající nástrojů obrazové analýzy založené na spektrálním přístupu, které nejprve

převědou texturní obrazy do frekvenční oblasti, jsou vhodné pro popis směrovosti periodických vzorů. Tyto techniky jsou založené na vlastnostech Fourierova spektra a popisují globální periodicitu úrovně šedi obrazu. Směr rozložení vysokých hodnot frekvenčních komponent ve frekvenční oblasti odpovídá převažujícím směrům objektů v obraze v prostorové oblasti. Druhá metoda vychází z transformace výkonového spektra do binárního obrazu pomocí prahování, díky němuž dojde k segmentaci významných frekvenčních komponent. Pro popis objektů v segmentovaném obraze je možné využít obrazové momenty. V binárních obrazech lze dále určit vlastnosti jako je délka hlavní, vedlejší osy a orientace elipsy, která má stejný normalizovaný druhý centrální moment jako oblast zájmu. Orientace koresponduje s převládajícími směry objektů v prostorové oblasti. Výsledky metod jsou v této práci porovnány s dalšími metodami (metoda směrové růžice uvedená ve studii *Rataje a Saxla*). Všechny metody vykazovaly přibližně stejné výsledky, čímž je ověřeno, že navržené metody lze použít pro monitorování strukturní anizotropie nebo směrové orientace vláknenných systémů.

Autoři článku [4] vyvinuli kvantitativní mikroskopickou metodu pro detekci změny v orientaci kolagenových vláken v kůži v důsledku mechanického namáhání. Metoda je založena na použití červeného označovače a vepřové kůže zdůrazňující kolagenní vlákna, která odráží světlo, je-li použita silně epipolarizovaná mikroskopie. Digitální obraz sekcí byl analyzován v softwaru *NIH Image*. Postup analýzy obrazu pro kvantitativní určení délky kolagenových vláken v rovině sekcí, jako parametr pro orientaci vláken, je tvořen z následujících kroků: (a) tvorba binárního obrazu pomocí prahování, přičemž pozadí je černé a kolagenová vlákna jsou bílá, (b) analýza je provedena pro všechny bílé objekty, (c) pro každý počítaný objekt je vytvořena elipsa, (d) nejkratší a nejdelší diametr elipsy je stanoven v počtu pixelů a jsou pojmenovány jako hlavní a vedlejší osa elipsy, (e) tyto osy jsou spočteny pro všechny objekty a výsledky jsou uvedeny v tabulce od největší po nejmenší hlavní osu, (g) je vypočítaný průměr 10-ti nejdelších hlavních os a tato průměrná délka je považována za parametr pro orientaci kolagenových vláken.

Orientaci vláken v netkaných textiliích zjišťované pomocí obrazové analýzy se zabývala skupina autorů, která vydala sérii článků popisující tuto problematiku. V prvním článku série [5] se autoři zabývají tím, jak vytvořit obrazové struktury, na kterých by ověřili různé algoritmy. Aby bylo možné porovnávat výsledky algoritmů, musí být charakteristiky vzorků známy, proto autoři vyvinuli simulační schéma, které generuje specifické netkané struktury (obrazy). Celkem autoři vytvořili 5 sérií obrazů.

1. skupina simulovala rovné nepřetržité vláknenné sítě s rozsahem orientace anizotropie. Obrazy 2. skupiny se rovněž lišily svou orientací anizotropie, ale byly zde střížová, nesouvislá vlákna s 10% zvlněním. 3. série obrazů byla generována stejně jako skupina 2, avšak obrazy se lišily stupněm zvlnění. Obrazy 4. skupiny se lišily hustotou a obrazy 5. skupiny se lišily tloušťkou vláken. Vygenerované obrazy mají však svá omezení, neumožňují obsáhnout jevy jako je shlukování nebo klastrování, které jsou netkaným textiliím vlastní. U reálných netkaných textilií se může průměr vláken lišit, autoři z důvodu jednoduchosti předpokládali konstantní průměr vláken. Nicméně fyzikální vlastnosti těchto simulací jsou známy přesně, proto jsou vhodné k testování algoritmů charakterizující orientaci a další strukturní vlastnosti vláken.

V druhé části série [6] se autoři zabývají vyvinutím techniky analýzy obrazu pro přímé sledování vláken v sestavě. Algoritmy jsou hodnoceny pomocí simulovaných obrazů, uvedených v předchozí části seriálu [5]. Metoda přímého sledování se jevila velmi účinná pro určování orientace vláken v netkaných textiliích bez ohledu na jejich strukturní charakteristiky. Algoritmus přímého sledování se musí řídit jistými pravidly, to znamená, že jeho rychlost bude poměrně nízká a spíše je tedy využitelný pro účely výzkumu a vývoje. U použití přímého sledování je pracováno s binárním obrazem. Před samotnou aplikací algoritmu musí obraz projít morfologickou operací eroze, aby byly odstraněny odlehlé body. Ve studii se předpokládá, že tloušťka vlákna odpovídá jednomu pixelu. Algoritmus je však možné aplikovat i na silnější vlákna. Princip metody spočívá v přikládání masky na obraz, viz obr. 1.

3	2	1
4		0
5	6	7

Obr.1 Čtvercové rastrové kódování směrů.

Dle označených směrů sousedních pixelů hlavního pixelu rozpoznává algoritmus směr. Problémy mohou nastat zejména pro vysoce orientované a husté struktury, kde se vlákna různě kříží. Výsledky ukazují, že metoda je spolehlivá a přesná, bez ohledu na strukturní rysy obrazu.

Třetí díl série [7] se snaží o vyvinutí techniky analýzy obrazu, při níž by se pomocí Fourierovy transformace obrazu hodnotila orientace vlákenného systému. Algoritmy jsou hodnoceny pomocí simulovaných obrazů uvedených v části 1 [5]. Výsledky metody jsou porovnávány s výsledky metody přímého sledování [6]. Fourierova metoda je užitečná pro získávání informací o orientaci z transformace obrazu do frekvenčního spektra, kde větší stupeň změny na úrovni šedi je reflektován ve vyšších amplitudách. Metoda je schopná analyzovat obrazy za přítomnosti šumu. Tato metoda není časově náročná, a proto je vhodná k on-line kontrole kvality. Výsledky studie ukazují, že Fourierova metoda poskytuje poměrně přesné a spolehlivé informace bez ohledu na strukturní rysy obrazu.

V další studii [8] autoři prezentují techniku analýzy toku pole pro charakterizaci orientace. Opět platí, že by tato metoda byla vhodnou volbou pro on-line kontrolu kvality textilie. Analýza proudových polí je technika, kdy orientace lokální textury je stanovena na základě použití gradientu hranového operátoru. V analýze toku polí, je šedotónový obraz rozdělen na řadu malých oken a je vypočítána průměrná orientace vláken v každém okně. Data pak mohou být použity k odvození střední nebo dominantní orientace místní i globální struktury. Přestože jde o nepřímou metodu, její využití je praktické, protože nevyžaduje segmentaci obrazu a pracuje přímo s šedotónovým obrazem. Výsledky pro metodu průtokových polí ukazují, že z větší části je metoda poměrně přesná a spolehlivá, ale je zaměřena pouze na získání středního orientačního úhlu a ne na získání orientační distribuční funkce.

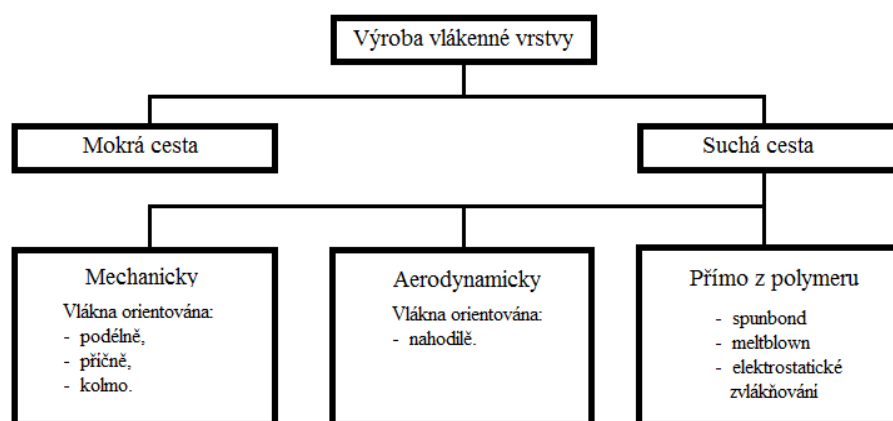
Z uvedených publikací je zřejmé, že pomocí obrazové analýzy je možné učinit spolehlivý odhad směrového rozložení vlákenné vrstvy netkaných textilií (NT), o kterých pojednává následující kapitola.

3. Netkané textilie

Netkaná textilie představuje vrstvu vláken, která jsou jednosměrně nebo náhodně orientovaná. Tyto vlákna mohou být spojena třením, kohezi nebo adhezi. Výjimku tvoří papír a výrobky vyrobené tkaním, pletením, všíváním, proplétáním nebo plstěním.

Celosvětová produkce většiny druhů textilií stagnuje, avšak výroba netkaných textilií se neustále zvyšuje, celosvětový roční nárůst činí 6%. 20% z celkové celosvětové výroby textilií činí právě netkané textilie. Za neustálým růstem produkce NT stojí jejich široké uplatnění, například obalové materiály, geotextilie, bytové textilie, vzduchové a kapalinové filtry, zdravotnické textilie, apod. Tato práce bude zaměřena především na zdravotnické textilie, konkrétně pak na jednorázové obleky. [9].

Netkané textilie je možné klasifikovat buď podle technologie výroby, nebo podle způsobu zpevnění. Obr. 2 představuje grafické znázornění schématu rozdělení netkaných textilií podle technologie výroby [10].



Obr.2 Rozdělení NT podle technologie výroby [9].

Materiál pro výrobu netkaných textilií většinou tvoří polymery, ze kterých pochází jak vláknenné suroviny, tak i pojiva. Tyto makromolekulární látky ovlivňují zpracovatelské i uživatelské vlastnosti NT svým zvláštním charakterem a chováním, díky nimž je možné vytvářet typické vláknenné struktury se směrovým uspořádáním nadmolekulárních struktur a charakteristik.

Vlákna používaná při výrobě netkaných textilií jsou běžně vyráběné vláknenné suroviny pro textilní průmysl, především se využívají vlákna ve formě stříží. Vlákna pro výrobu netkaných textilií se mohou při výrobě různě modifikovat, aby lépe odpovídala

požadavkům zákazníků, např. vyšší objemnosti, aplikace povrchové úpravy, atd. V některých případech lze vlákna vytvářet přímo v procesu tvorby vlákenné vrstvy z polymeru. Velkou část materiálu pro výrobu NT tvoří technologický odpad ze všech stupňů zpracování vláken v textilním a oděvním průmyslu. Podíl technologického odpadu je až 20%, proto je otázka jeho dalšího zpracování velice důležitá.

Vlákna rozlišujeme pomocí dvou atributů:

- zpracovatelnost výrobními technologiemi,
- vliv vlastností vláken na vlastnosti NT.

V současnosti se ve výrobě NT nejvíce používají vlákna polypropylénu, dále jsou to pak vlákna polyesteru, polyamidu a celulózová vlákna a ostatní. Zpracovatelnost a konečné vlastnosti výrobků ovlivňuje řada vlastností. Mezi vlastnosti, které ovlivňují zpracovatelnost vláken a vlastnosti výrobků patří jemnost vláken, běžně se používají vlákna s jemností 1,3 – 20 dtex. Dále pak zpracovatelnost vláken ovlivňuje délka řezu stříže, pro kterou jsou typické hodnoty 38 – 85 mm pro mechanické procesy, 2 – 3 mm pro technologii naplavování a pod 5 mm pro technologii nanášení vláken v elektrostatickém poli. Vlastností ovlivňující zpracovatelnost a vlastnosti výsledného produktu je mnoho, avšak vztahy mezi nimi nejsou zcela zmapované.

Druhou složkou netkaných textilií tvoří pojivo, které spojuje vlákna. Forma pojiva a jeho vlastnosti ovlivňují:

- technologii a podmínky procesu pojení,
- strukturu textilie,
- mechanické vlastnosti a chemickou odolnost.

Forma pojiva představuje jeho fyzikální (pevná látka, roztok...) nebo geometrickou formu. Z těchto hledisek rozlišujeme několik druhů pojiv:

- roztoky polymerů (voda, organické rozpouštědla),
- vodné disperze polymeru,
- zpěněné vodné disperze polymeru,
- pasty,
- tuhé polymery v různých podobách (např. prášek, vlákna, nitě, folie).

Technologie výroby netkaných textilií lze rozdělit na dva způsoby podle toho, jakým způsobem jsou získány vlákna pro tvorbu vlákenné vrstvy. Jednou z možností je výroba vlákenné vrstvy ze staplových vláken. Druhou možností je pak výroba vláken

z nataveného polymeru. Dalším krokem při výrobě NT je příprava vlákenných vrstev, které se následně zpevňují, upravují a nakonec se ořezávají a nabalují [10].

3.1 Příprava vlákenných vrstev

Příprava vlákenných vrstev může být prováděna několika způsoby. V této práci budou popsány následující základní způsoby.

3.1.1 Mechanické způsoby přípravy vlákenných vrstev

Při výrobě NT mechanickými způsoby se vytváří vlákně pavučiny, které se následně vrství. Vlákněnou pavučinu vytvářejí mykací stroje. Je možné použít speciální mykací zařízení pro NT, avšak normálně bývají využívány klasické mykací stroje víčkové a válcové. Mykací stroj je složen z mnoha válců opatřených drátkovými nebo pilkovými pracovními povlaky, ty vůči sobě zaujímají specifické postavení na mykání, na snímání nebo povytažení.

Výstupem z mykacího stroje je lehká vlákněná pavučina obvykle s plošnou hmotností $5 - 30 \text{ g.m}^{-2}$. Tuto pavučinu je možné vést dále ke zpevňujícímu zařízení. Pokud je za sebou uspořádáno několik mykacích strojů, lze pavučiny podélně vrstvit a tak zvýšit plošnou hmotnost výrobku. Častější je však zvyšování plošné hmotnosti výrobku pomocí tzv. příčného kladení pavučiny odváděcí pás, který se pohybuje kolmo ke směru přívodu pavučin [10].

3.1.2 Aerodynamická výroba vlákněné vrstvy

Při výrobě rouna touto metodou je vlákněná surovina rozvolněna rychle se otáčejícím škubacím válcem. Ten je osazen pracovním povlakem. Z válce jsou vlákna snímána účinkem odstředivé síly a proudu vzduchu. Proud vzduchu poté unáší vlákna a ukládá je pohybující se síťový dopravník. Na rozdíl od mechanické přípravy vlákněné vrstvy je výstupem této metody vrstva, jejíchž vlákna jsou nahodile orientována, proto má toto rouno přibližně stejné vlastnosti ve všech směrech [10].

3.1.3 Mechnicko – aerodynamické postupy výroby rouna

Tato metoda je kombinací výše dvou popsáných způsobů výroby netkaných textilií, která byla vyvinuta speciálně pro výrobu NT. Cílem této metody je kombinace výhod předchozích metod. Touto metodou lze vyrobit vlákenné vrstvy se strukturou téměř izotopické, vysokým výkonem a rovnoměrností. Na bázi této metody funguje např. mykací stroj Wirrvlies a rounotvořič K 21 firmy Fehrer [10].

3.1.4 Hydrodynamická výroba vlákenné vrstvy

Tato technologie je velice podobná technologii výroby papíru. Proces výroby NT touto metodou začíná smáčením a disperzí vláken ve vodě, poté je vlákenná suspenze dopravena k nekonečnému síťovému pásu. Na síti se pomocí filtrace suspenze vytvoří vlákenná vrstva, která je posléze sušena a dodatečně zpevňována. Tato metoda je velice náročná, je potřeba použití drahých, rozměrných a vysoce výkonných zařízení a proto není příliš využívána [10].

3.1.5 Příprava vlákenných vrstev z taveniny polymeru

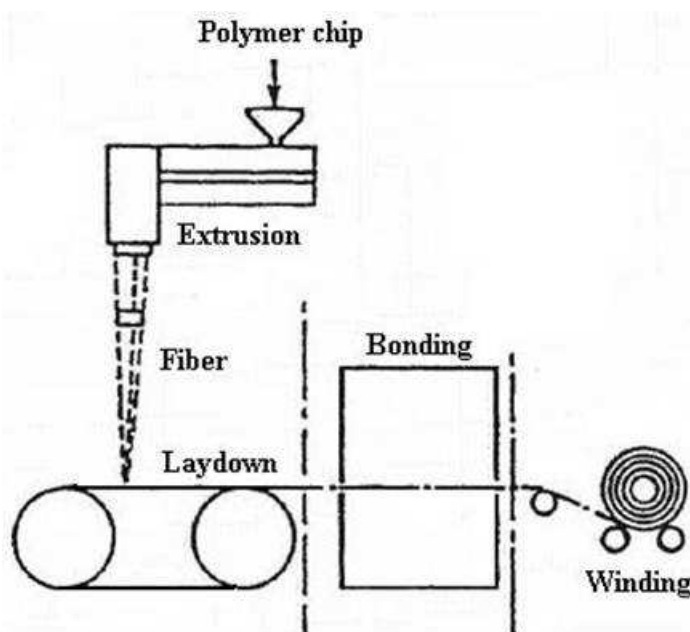
Při výrobě netkaných textilií je tato technologie nejčastější, existuje několik metod. V této práci budou představeny 2 nejdůležitější metody tohoto způsobu výroby vlákenných vrstev a to spun bond a melt-blown [10].

Technologie spun-bond

Jedná se o velice produktivní technologii využívanou pro masovou výrobu. Proces této metody začíná roztavením lineárního vláknovitého polymeru, obvykle ve formě granulátu. Nejčastěji se používá polypropylen, kvůli jeho nižší ceně, avšak použit může být i polyester nebo polyamid. Roztavený polymer se dále zvlákňuje pomocí zvlákňovacích trysek. Odtah od trysek může být proveden pomocí gravitační síly, kdy výsledkem jsou málo pevné textilie z nekonečných vláken. Další způsob využívá vzduchové odtahovací trysky, výsledkem této technologie jsou textilie z částečně dloužených vláken. Je možné také použít k odtahu od trysek galety s případným dloužením, výsledný produkt této metody jsou pevné textilie z vydložených vláken. Následně musí vlákna vychladnout, poté je třeba rozložit je rovnoměrně na pohybující se pás, kde vzniká vlákenná vrstva, tento proces lze uskutečnit několika metodami.

Jednou metodou je přímé ukládání vláken z široké zvlákňující trysky, jiným způsobem může být elektrické nabití vláken ve vzduchové odtahovací trysce, to způsobí vzájemné odtahování vláken. Dalšími využívanými způsoby jsou odtahování vzduchové trysky výkyvným pohybem nebo odtah a ukládání v celé šíři.

Dále se musí vlákenná vrstva zpevnit, to může být provedeno několika metodami. Lze využít chemické nebo tepelné pojení, vpichování nebo slepením neúplně vychlazenými nedlouženými vlákny [10]. Celý výrobní proces je vyobrazen na obr. 3. Vzorky testované v této práci byly vyrobeny touto technologií.



Obr. 3 Výrobní proces technologii spun bond.

Technologie melt-blown

Proces výroby NT touto technologií začíná stejně jako u spun - bond tavením polymeru a následným transportem taveniny k hubici. Využívané polymery jsou polypropylen, polyetylen, polyester a polyamid. Touto technologií jsou zpracovávány speciálně vyvinuté nízkomolekulární polymery. Natavený polymer je dopraven k výtlačné hubici s mnoha zvlákňovacími otvory, šíře hubice je stejně široká, jako šíře zařízení. Zvlákňovací otvory jsou umístěny na hraně hubice, kam je přiveden stlačený horký vzduch, který od hubice strhává vytékající taveninu a formuje ji do tvaru vlákna. Vychlazená vlákna jsou poté formována do vlákenné vrstvy na porézním sběrném bubnu nebo pásu. Poté je vlákenná vrstva pojena, nejčastěji kalandrem a navíjena [8].

3.2 Zpevnění vlákenných vrstev

Po vytvoření vlákenné vrstvy je potřeba ji zpevnit. K tomu bylo vyvinuto několik způsobů, ty nejdůležitější budou v této práci představeny.

3.2.1 Mechanické způsoby zpevňování

Nejdůležitějším představitelem tohoto způsobu je technologie vpichování. Jedná se o jednu z nejstarších metod zpevňování vlákenných vrstev. Princip této metody spočívá v průniku jehly s ostny vlákennou vrstvou, čímž dochází k přeorientaci vláken, které pak provazují vlákenné vrstvy. Při vpichování dochází také k redukci tloušťky vlákenné vrstvy, přeorientaci všech vláken a ke změnám délky i šířky útvaru [10].

3.2.2 Chemické způsoby zpevňování vlákenných vrstev

Pojení disperzemi a zpěněními disperzemi polymerů

Postup při zpevňování vlákenných vrstev disperzemi se skládá z několika fází. Po přípravě vlákenné vrstvy popsané výše se na ni nanáší pojiva, to lze provést např. impregnací, stříkáním pojiva na vlákennou vrstvu, nanášení tiskem nebo nános raklí. Zpevnění pojiva je dosaženo odstraněním disperzního prostředí (vody) jejím odpařením. Odpařování vody je realizováno v sušicích zařízeních, kde se ohřívá voda k teplotě varu. Za současného odpařování a zvyšování koncentrace sušiny v disperzi dochází k vysoké koncentraci koagulace. V dalším kroku dochází k odpaření zbytku vody a síťování. Koagulace disperzí probíhá bez odstranění vodného disperzního prostředí. Následným síťováním se vytváří trojrozměrné struktury pojiva, tím je dosažena vyšší odolnost pojiva a výrobků proti chemikáliím, vodě, procesům údržby, stárnutí, atd [10].

3.2.3 Termické způsoby zpevňování vlákenných vrstev

Obecný postup při použití této metody je nanášení pojiva na pavučinu, případně vlákennou vrstvu ve formě prášku nebo pasty. Pojivo využívající tato metoda můžou být nížetající homopolymery (polypropylén, polyamid) nebo kopolymery. Jaké pojivo bude použito, se řídí požadavky na tepelnou a chemickou odolnost výrobků a na míru zpevnění. Zpevnění určuje hlavně adheze pojiva k základním vláknům. Pojivo je

nanášeno v různých formách např. prášky, folie, mřížky apod. Toto pojivo je posléze roztaveno zvýšením teploty vrstvy. Po zformování pojicích míst se opět pojivo ochladí a tím dochází k jeho zpevnění [10].

Zpevňování vláknenné vrstvy kalandrem

Při tomto způsobu zpevňování prochází vláknenná vrstva s pojivem mezi dvojicí válců, kdy jeden nebo oba válce jsou vyhřívané. Mezi válci je vláknenná vrstva stlačena a dochází k jejímu ohřevu na teplotu, při které pojivo taje. Vlivem tlaku mezi válci se pojivo formuje do tvaru pojicích míst. Po ochlazení pojivo ztuhne a dojde ke zpevnění vláknenné vrstvy.

Pojivo je nanášeno nejčastěji jako prášek na vláknennou vrstvu, je možné použít případně pojivá vlákna přimíchaná k základním vláknům, folie, mřížky, apod. Vláknenná vrstva může být propojená v celé ploše, pokud jsou válce hladké nebo v pojicích místech volitelných tvarů a rozměrů v případě rastrovaného válce.

Vzorky použité v této práci jsou pojené tímto způsobem. Při kalandrování byl použit rastrovaný válec [10].

Teplovzdušné pojení

Při tomto způsobu pojení bývá nejčastěji jako pojivo použité pojivová vlákna, která jsou přimíchána mezi základní vlákna. Možné je použití i folií nebo mřížky z termoplastického polymeru. Teplovzdušné pojení je podmíněno propustností zpracovávané vláknenné vrstvy pro vzduch.

Při pojení prochází vláknenná vrstva s pojivem komorou s cirkulujícím horkým vzduchem. Horký vzduch prochází vláknennou vrstvou a roztavuje pojivo. Tento proces je oproti ostatním typům ohřevu, kromě kalandru, velice rychlý (cca 10 s). Roztavené pojivo poté formuje spoje mezi vlákny. Po zchlazení pojivo ztuhne a proces pojení je u konce [10].

4. Digitální obraz

Digitální obraz lze definovat jako dvourozměrnou funkci $f(x,y)$, kde x a y jsou souřadnice v rovině a funkce f je amplituda pro každou dvojici souřadnic, která představuje jas, intenzitu nebo úroveň šedi v daném bodě.

Snímaná scéna je spojitá jak vzhledem k souřadnicím x a y , tak i v amplitudě f . Aby bylo možné zpracovat obraz v počítači, musí být obrazová funkce digitalizována. Digitalizace spočívá ve vzorkování hodnot souřadnic a kvantování hodnot amplitudy. Vzorkováním obrazu se uspořádávají jednotlivé body do matice o velikosti $M \times N$, kde M je počet řádků a N je počet sloupců matice. Při vzorkování spojitě obrazové funkce $f(x,y)$ je třeba vyřešit dva problémy [12].

1. Stanovení intervalu vzorkování. Interval vzorkování je definován jako vzdálenost mezi nejbližšími vzorkovacími body v obraze. Velikost intervalu vzorkování se určí pomocí Shannonovy věty o vzorkování, která říká, že vzorkovací frekvence musí být alespoň dvakrát větší, než nejvyšší zajímavá frekvence ve vzorkovaném signálu.
2. Výběr vzorkovací mřížky. Vzorkovací mřížka určuje plošné uspořádání bodů při vzorkování. Používá se zpravidla pravidelná mřížka, nejčastěji čtvercová.

Každému vzorkovacímu bodu odpovídá v digitálním obraze obrazový element, pixel. Nejmenší jednotkou digitálního obrazu je právě pixel, který je charakterizovaný svou intenzitou. Intenzita pixelu je určena kvantováním obrazové funkce. Kvantování je digitalizace hodnot amplitudy, přičemž je kvantována jasová úroveň každého vzorku do k úrovní. Digitální obraz je reprezentován zápisem 1.

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0, N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

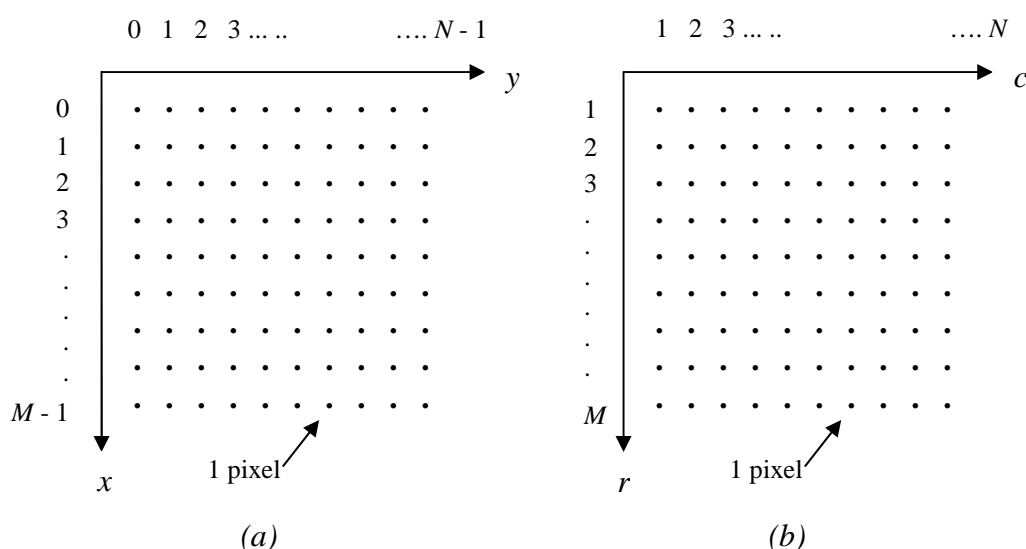
Při kvantování je důležité zvolit dostatečný počet kvantovacích úrovní tak, aby byly pokryté jemné detaily obrazu. Počet kvantovacích úrovní lze získat pomocí vztahu

$$L = 2^b, \quad (2)$$

kde L určuje počet úrovní jasu a b je počet bitů připadajících na jeden pixel. Nejlepší aproximace původního spojitého obrazového signálu je možné dosáhnout jemným vzorkováním a kvantováním. [13].

Výsledkem vzorkování a kvantování je matice $M \times N$ celých kladných čísel. Počátek této matice v souřadném systému se nachází v bodě $(x,y) = (0,0)$. Konvence pozic jednotlivých pixelů v souřadném systému je zobrazena na obr. 1 (a).

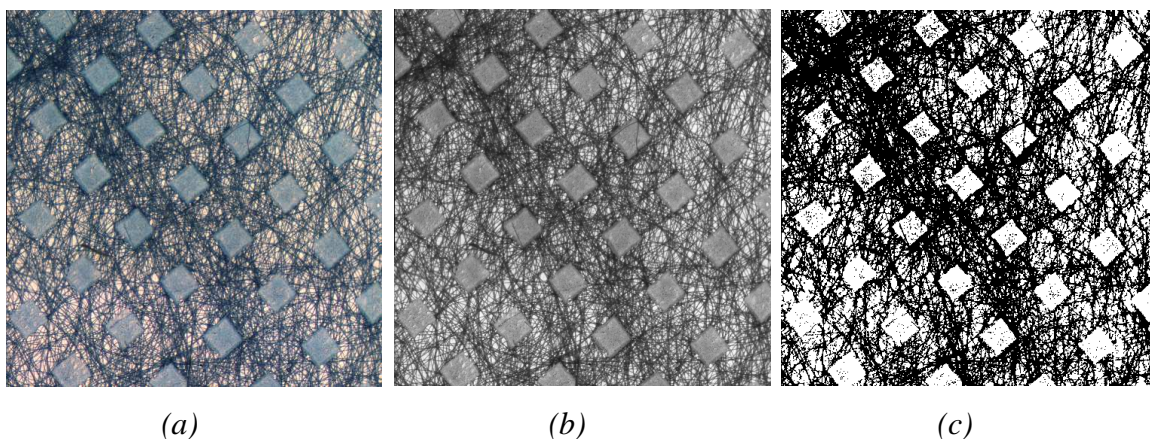
Pro konvenci pixelů v souřadném systému v programu MATLAB bude využíván zápis souřadnic (r,c) , přičemž r značí řádek (row) a c sloupec (column). V tomto případě je počátek souřadného systému matice obrazu umístěn v bodech $(r,c) = (1,1)$, kde r jsou řady čísel od 1 do M a c jsou řady čísel od 1 do N . Na obr. 4 (b) je uvedena ukázka konvence jednotlivých pozic pixelů v souřadném systému v prostředí programu MATLAB týkající se zpracování obrazu. Tato forma dokumentace jednotlivých bodů v souřadném systému je tedy zápisem souřadnic jednotlivých pixelů [11].



Obr. 4 Ve většině literatur zabývající se problematikou zpracování obrazu se používá konvence (a) pro jednotlivé pozice pixelů v obrazové matici. Konvence (b) je používána v programu MATLAB.

4.1 Druhy digitálních obrazů

Digitální obraz je typ rastrového obrazu. Pixely, ze kterých je tento druh obrazu složen, jsou řazené podle souřadného systému do rastrové mřížky. Každý pixel si prostřednictvím bitů nese informaci o své barvě. Pomocí této informace může být obraz rozlišen na obraz binární, monochromatický nebo barevný [11], viz obr 5 (a)-(c).



Obr. 5. Typy obrazů: (a) barevný obraz, (b) monochromatický obraz, (c) binární obraz.

4.1.1 Binární obraz

Jedná se o rastrový obraz, kdy jednotlivé pixely nabývají pouze dvou hodnot a to nuly a jedničky. Ke kvantování je využit pouze 1 bit. Jednička v obrazové matici reprezentuje bílou a nula značí černou barvu v obraze. Nejprve musí být obraz převeden do binárního dvojkového kódu, aby mohl být zpracován v počítačové formě. Nejmenší jednotkou tohoto kódu je bit, který může nabývat pouze dvou hodnot, nuly a jedničky. Binární obraz pak vznikne jako výsledek určité transformace (prahování, detekce hran, apod.) [11].

4.1.2 Monochromatický obraz

Monochromatický obraz je složen z odstínů jedné barvy, nejčastěji se používají stupně šedi. Každý pixel obrazu se skládá z 8 a více bitů. Počet úrovní barvy je dán vztahem (2).

$$L = 2^8 = 256,$$

kde 0 znamená černou barvu (minimální intenzitu) a hodnota 255 představuje bílou barvu (maximální intenzita) [11].

4.1.3 Barevný obraz

Tři kompozitní barvy RGB – červená (R – Red), zelená (G – Green) a modrá (B – Blue) tvoří barevný obraz. Každý pixel je složen ze 3 bytů (1 byt = 8 bit), pro každou barvu je určen 1 byt, přičemž každý byt nese informaci o intenzitě odstínu barvy od

nejslabší po nejsytější odstín. V programu *MatLab* je barevný obraz tvořen 3 maticemi o velikosti $M \times N$, jedna matice připadá na jednu barvu. Počet barev v RGB obrazu, kde připadá 1 byt na jeden kanál barvy, je dán vztahem (2)

$$L = (2^8)^3 = 16777216.$$

V této práci budou vyhodnocovány monochromatické i barevné obrazy. Barevné vstupní obrazy reálných netkaných textilií budou však před hodnocením převedeny na obrazy šedotónové. Informace o počtu úrovní barvy v šedotónovém obraze bude uložena v 1 bytu pro každý pixel, tzn., že celkem bude použito 256 úrovní šedi.

Další kapitola pojednává o tvorbě obrazu simulovaného vlákenného systému, který bude mít formu šedotónového obrazu. Generované obrazy hrají důležitou roli při ověřování efektivity metodiky, protože u nich bude směrové rozložení objektů v obrazu známé [11].

5. Generování testové sady obrazů

Prvním krokem v experimentální části této práce je vytvoření obrazu simulovaného vlákenného systému, jehož předností je známá informace o směrovém rozložení vláken. Díky této informaci bude následně možné ověřit efektivitu navržené metodiky. Obraz simulovaného vlákenného systému bude mít formu digitálního šedotónového obrazu s náhodně generovanými objekty, které zde budou představovat vlákna. Vlastnosti objektů jako je velikost, poloha, orientace a úroveň šedi budou náhodně generovány ze zadaného rozdělení se stanovenými parametry.

5.1 Postup při generování testových sad obrazů

Vlákno v digitálním obrazu představuje celistvív délkový útvar, přičemž jeden rozměr je řádově větší než druhý. K aproximaci vlákna jsou proto v obraze použity objekty – obdélníky, kde jedna strana je řádově větší než strana druhá. Při tvorbě obrazu je náhodně generováno n objektů se stanovenými parametry. Na začátku generování objektů jsou nejprve vytvořeny 4 vrcholy čtverce s následujícími souřadnicemi:

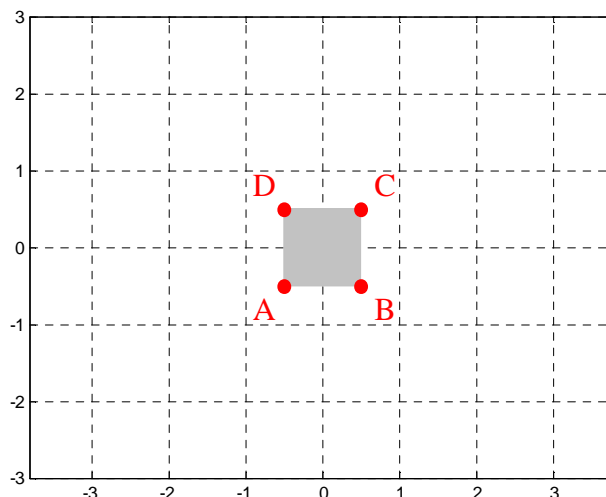
$$A = [-0,5; -0,5],$$

$$B = [0,5; -0,5],$$

$$C = [0,5; 0,5],$$

$$D = [-0,5; 0,5],$$

kde první hodnota v pořadí představuje souřadnici v na ose x a druhá je souřadnice w na ose y . Vyplněním plochy čtverce daného těmito vrcholy je získán první objekt, který je prezentován na obr. 6.



Obr. 6 Vytvoření čtverce s výše uvedenými vrcholy.

Následně jsou použity geometrické prostorové transformace, jež jsou dané obecným vztahem

$$(x, y) = \mathbf{T}\{(v, w)\}, \quad (3)$$

kde (x, y) jsou souřadnice po transformaci, \mathbf{T} je transformační matice a (v, w) jsou původní souřadnice bodu. Z prostorových transformací souřadnic bodů jsou v této práci použity afinní operace, jejichž základní forma má následující tvar

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v & w & 1 \end{bmatrix} \mathbf{T} = \begin{bmatrix} v & w & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & 0 \\ t_{21} & t_{22} & 0 \\ t_{31} & t_{32} & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Pomocí této transformace je možné vytvořený objekt posunout, rotovat, zkosit nebo změnit měřítko podle nastavení hodnot transformační matice \mathbf{T} . V této práci jsou použité operace posuv, rotace a změna měřítka. Transformace funguje tak, že pro každý pixel vstupního obrazu je dle vztahu (6) napočtena poloha korespondujícího pixelu ve výstupním obraze. Při tvorbě transformační matice jsou nejprve vytvořeny dílčí transformační matice pro jednotlivé afinní operace. Výsledná transformační matice je získána součinem všech dílčích matic [11].

5.1.1 Změna měřítka objektů

Jako první afinní operace je provedena změna měřítka objektů. Na začátku funkce jsou pevně definované souřadnice vrcholu obdélníku, jak je popsáno v kapitole 5.1.

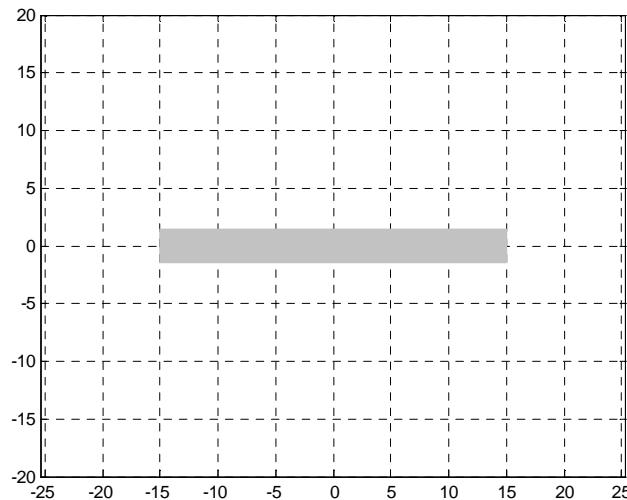
Těmto souřadnicím je dále přiřazeno různé měřítko v obou osách a tím vzniká různá velikost objektů. Z důvodu aproximace vláken se volí zvětšení na jedné ose mnohonásobně větší než na ose druhé. Ke změně měřítka je potřeba vytvořit transformační matici měřítka. Princip afinních operací spočívá ve vynásobení matice se souřadnicemi vrcholu obdélníku (v, w) s transformační maticí T , kde jsou umístěny náhodně vygenerované hodnoty z rovnoměrného rozdělení ze zadaného intervalu. Výsledná matice obsahuje nové souřadnice vrcholů obdélníku. Maticový zápis má následující podobu

$$\begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v & w & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} c_x & 0 & 0 \\ 0 & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \times c_x & w \times c_y & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Rovnice nových souřadnic jsou ve tvaru

$$\begin{aligned} x &= c_x \times v, \\ y &= c_y \times w. \end{aligned} \quad (6)$$

Příklad změny měřítka na ose x $c_x = 30$ a na ose y $c_y = 3$ je na obr. 7. Touto změnou měřítka je získán z původního čtverce požadovaný obdélník [11].



Obr.7 Zobrazení změny měřítka pro $c_x = 30$ a $c_y = 3$.

5.1.2 Rotace objektů

Úhel α , podle kterého bude objekt rotován, je generován z rovnoměrného rozdělení se zadanými parametry. Rotace objektu o úhel α je provedena v protisměru hodinových ručiček. Interval je určen podle požadavků na směrovou orientaci objektů. Pokud má být generován obraz, kde mají vlákna směrovou orientaci ve všech směrech stejnou, pak má interval rozmezí $\langle 0, \pi \rangle$. Pokud mají být vlákna v obrazu směrově orientované, je možné použít interval např. $\langle 0, \pi/6 \rangle$. V tomto případě budou všechny úhly objektu nabývat hodnot od 0 do 30° vůči ose x .

Princip otočení objektů spočívá v tom, že vzdálenost bodů od středu otáčení zůstává stejná a spojnice všech bodů se středem otočení se změní o úhel α . Tudíž platí vztahy

$$|SA| = |SA'|, \quad (7)$$

$$\angle ASA' = \alpha. \quad (8)$$

Pro výpočet otočení objektu musí být opět vytvořena transformační matice pro rotaci. Maticový zápis vztahu výpočtu nových souřadnic je dán vztahem

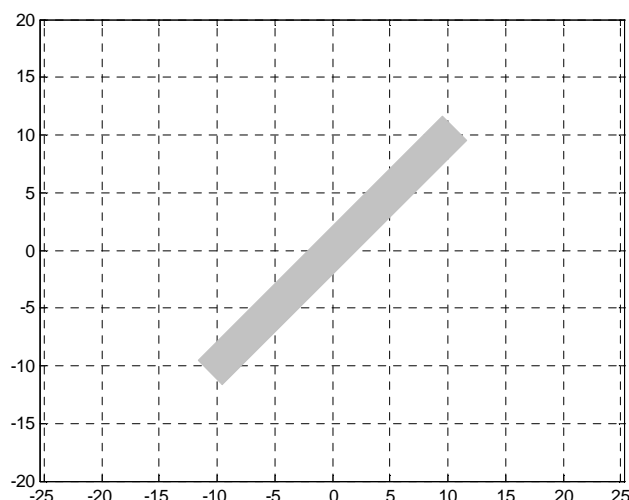
$$\begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v & w & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v \times \cos \alpha - w \times \sin \alpha & w \times \sin \alpha + v \times \cos \alpha & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Otočení o zadaný úhel α v dvourozměrné rovině kolem počátku souřadnic je tedy určen rovnicemi

$$x' = x \cos \alpha - y \sin \alpha, \quad (10)$$

$$y' = x \sin \alpha + y \cos \alpha. \quad (11)$$

Z těchto vztahů jsou získány souřadnice po operaci rotace. Výsledná matice obsahuje souřadnice bodů, které jsou rotovány o úhel α [11]. Ukázka výsledku rotované matice souřadnic bodů o úhel $\alpha = 45^\circ$ je znázorněna na obr. 8.



Obr. 8 Souřadnice bodů po otočení o úhel $\alpha = 45^\circ$.

5.1.3 Posunutí (translace)

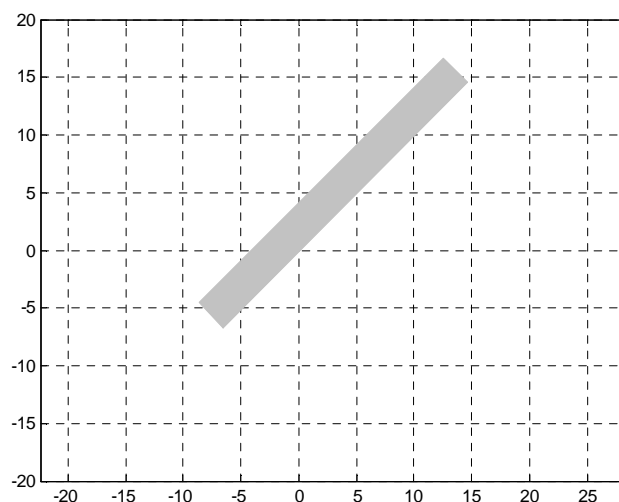
Pro posunutí objektu jsou vygenerovány hodnoty udávající velikost posunutí na ose x (proměnná x_p) a y (proměnná y_p), z rovnoměrného rozdělení na intervalu $\langle 0, x \rangle$ pro osu x . Hodnota x představuje velikost obrazu ve vodorovném směru. Pro osu y je hodnota posunutí vygenerována stejným způsobem na intervalu $\langle 0, y \rangle$, kde y je zadaná velikost obrazu v horizontálním směru. Tyto parametry budou použity v transformační matici posunu jako t_x a t_y . Pozice bodů po transformaci se vypočítá následovně

$$P' = \begin{bmatrix} x & y & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x+t_x & y+t_y & 1 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Rovnice nových souřadnic jsou vyjádřeny dle vztahu [11]

$$\begin{aligned} x &= v + t_x, \\ y &= w + t_y. \end{aligned} \quad (13)$$

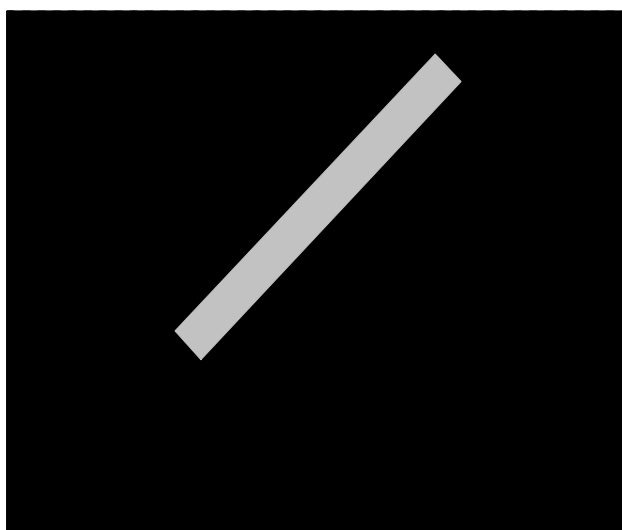
Ukázka objektu posunutého o hodnoty $t_x = 3$ a $t_y = 5$ je prezentována na obr. 9.



Obr. 9 Objekt posunutý z počáteční pozice s parametry $t_x = 3$ a $t_y = 5$.

5.1.4 Vyplnění obrazu odstíny šedi

Při snímání obrazu netkaných textilií bývá nejčastěji používáno osvětlení shora. V obrazu jsou poté vlákna bílé na tmavém pozadí. Tato koncepce bude dodržena i u generovaných obrazů, kde objekty budou nabývat odstínů šedi náhodně generovaných z určitého intervalu. Různá úroveň šedi objektů bude simulovat perspektivu, kdy vlákna v popředí jsou světlejší a vlákna vzdálenější jsou tmavší. Pozadí obrazu je nastavené na barvu černou. Ukázka zmíněného postupu nastavení barev je na obr. 10.



Obr. 10 Ukázka nastavení odstínu šedi výsledného obrazu na černém pozadí.

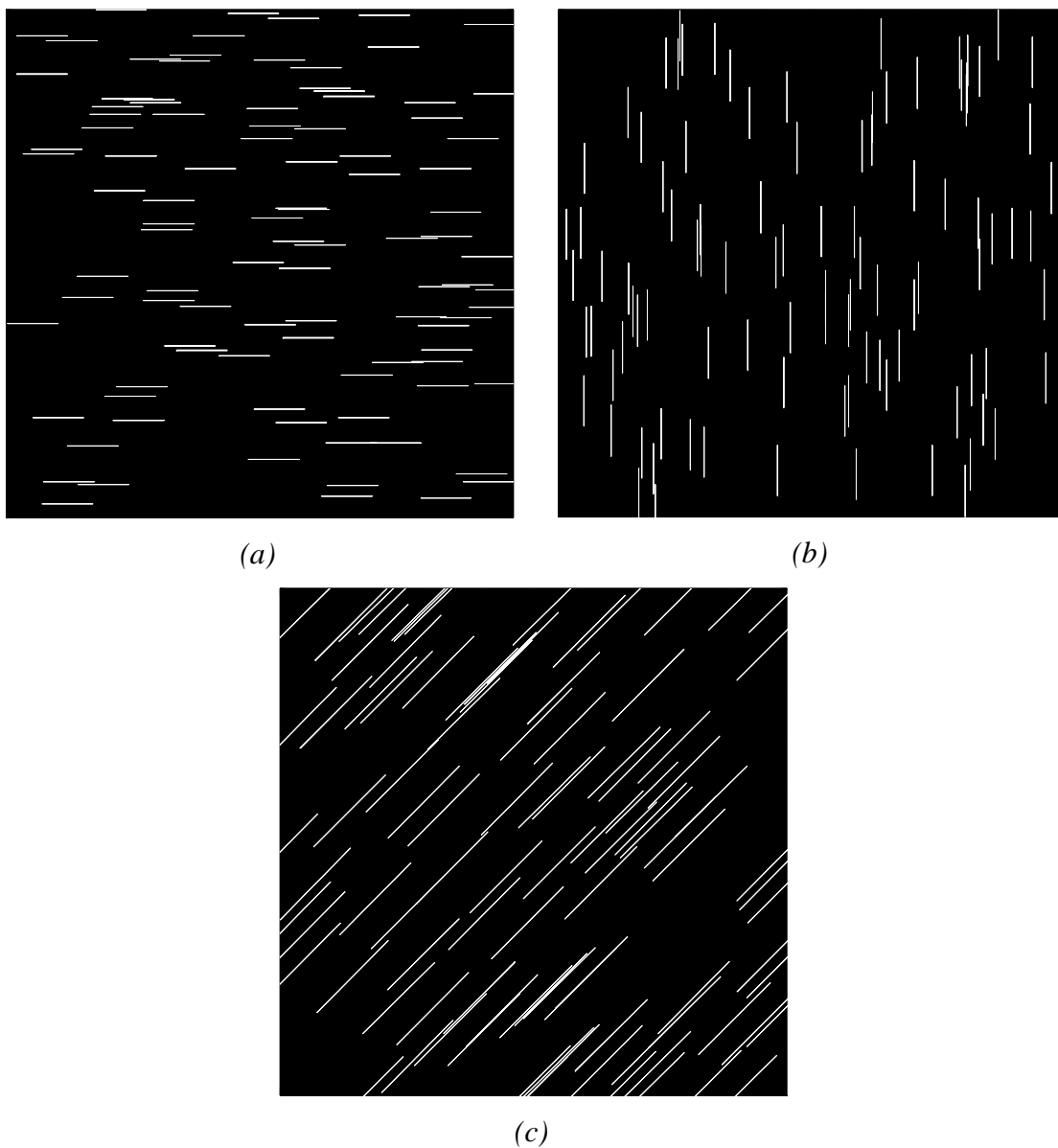
Tímto postupem je vytvořen jeden objekt aproximující jedno vlákno. Pro simulaci vláknenných systémů je třeba těchto objektů vytvořit mnoho, proto se postup uvedený v kapitole 5.1 opakuje pro n objektů. Všechny objekty jsou vkládané do jednoho obrazu. Tímto způsobem lze generovat obrazy simulovaných vláknenných systémů s předem určenými vlastnostmi, především pak známou směrovou orientací vláken.

Vytvořený algoritmus pro tvorbu obrazů simulovaných vláknenných systémů je uveden v příloze 1. Vstupní informace k provedení algoritmu je počet objektů, interval škálování ve směru osy x a osy y , interval úhlů rotace a hodnoty posunutí na ose x a y . Výstupem algoritmu je obraz, který má zadané vlastnosti.

5.2 Generování obrazů aproximujících textilií

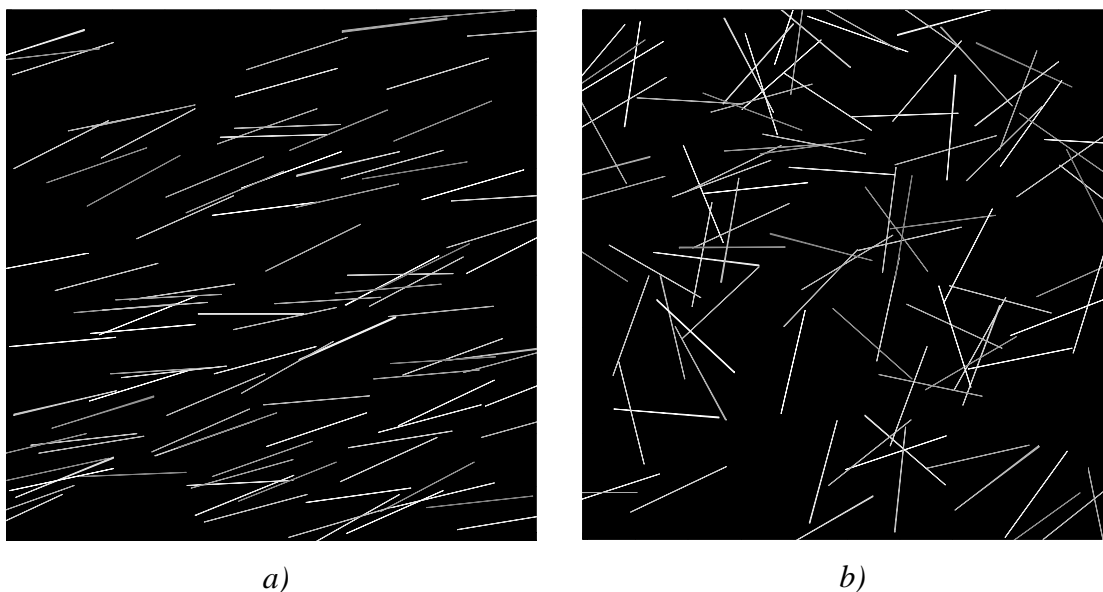
Výše uvedeným způsobem je možné vygenerovat obrazy s požadovanými vlastnostmi. Je možné nastavovat počet objektů, velikost objektů, směrovou orientaci vůči ose x a barvu objektů. Všechny parametry jsou náhodně generovány z rovnoměrného rozdělení se zadanými parametry. Rovnoměrné rozdělení přiděluje všem hodnotám náhodné veličiny stejnou pravděpodobnost jejího výskytu. Parametry rovnoměrného rozdělení a a b jsou hodnoty vymezující interval, ze kterého může náhodná veličina nabývat své hodnoty.

Generováním úhlu rotace α z rovnoměrného rozdělení $(0, \pi)$ je zajištěno zastoupení objektů se stejnou směrovou orientací ve všech směrech. Pomocí navržené metodiky jsou testovány obrazy s rovnoměrným rozložením směrů a je zjišťováno, zda se směrové rozložení objektů určené metodikou shoduje s generovaným rozložením směrů. Příklady vygenerovaných obrazů jsou uvedeny na obr. 11 (a)-(c).



Obr. 11 Ukázka generovaných obrazů s určitými vlastnostmi. (a) 100 objektů o velikosti strany $a=50$ a $b=0,5$, směrová orientace 0° , (b) 100 objektů o velikosti strany $a=50$ a $b=0,5$, směrová orientace 90° , (c) 100 objektů o velikosti strany $a=100$ a $b=0,5$, směrová orientace 45° .

Dále je možné generovat obrazy se silně orientovanými objekty nebo, jak je vidět na obr. 11, objekty se směrovou orientací ve všech směrech stejnou. Na obr. 12 (a), (b) je znázorněna ukázka obrazu se směrovým rozložením objektů generovaným z rovnoměrného rozdělení se zadanými parametry.



Obr. 12 Ukázka generovaných obrazů s určitými vlastnostmi, (a) 100 objektů o velikosti strany $a=100$ a $b=0,05$, směrová orientace $R(0^\circ, 30^\circ)$, (b) 100 objektů o velikosti strany $a=100$ a $b=0,05$, směrová orientace $R(0^\circ, 180^\circ)$.

5.3 Generované testové sady obrazů

V této práci bylo vytvořeno 5 testovacích sad obrazů s různým počtem a směrovým rozložením objektů. Sady jsou označeny písmeny A až E. Na těchto sadách bude dále testována efektivita navržené metodiky. Sady obrazů jsou zobrazené na obr. 14 až 18. V každé z pěti sad obrazů je jiný počet objektů. Počty objektů v jednotlivých sadách jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Testové sady obrazů.

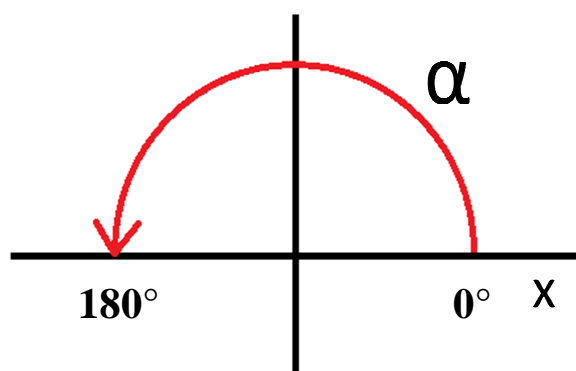
Sada	A	B	C	D	E
Počet objektů	1000	2000	3000	5000	10 000

V každé sadě bylo vytvořeno 8 obrazů s daným směrovým rozložením objektů. Obrazy jsou označeny čísly 1 až 8, směrové rozložení v daných obrazech je uvedeno v tabulce 2.

Tabulka 2: Směrové rozložení objektů v testových sadách obrazů.

Označení obrazu	1	2	3	4	5	6	7	8
Rozložení směrů	0°-30°	0°-45°	0°-60°	0°-90°	0°-135°	0°-150°	0°-165°	0°-180°

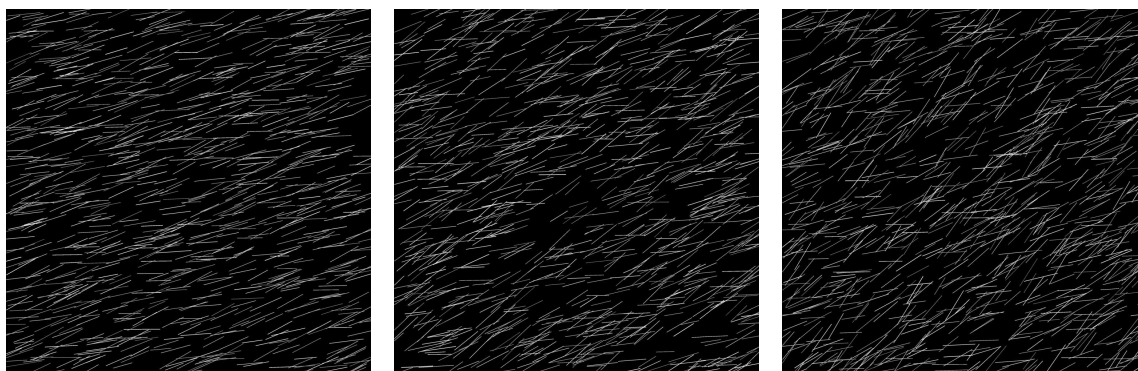
Způsob generování úhlu objektu je odlišný od způsobu vyhodnocování úhlu. Generování úhlu objektu je zobrazeno na obr 13.



Obr. 13 Způsob generování orientace objektů.

Každá sada tudíž obsahuje 8 obrazů s uvedeným rozložením. Z důvodu aproximace vláken objekty jsou délky stran generované z intervalu 50 až 100 pixelů pro delší stranu a 0,5 až 1 pro kratší stranu, dlouhá strana objektu je tudíž 100x větší než strana druhá. Sady jsou zobrazené na následujících obrázcích 14 až 18.

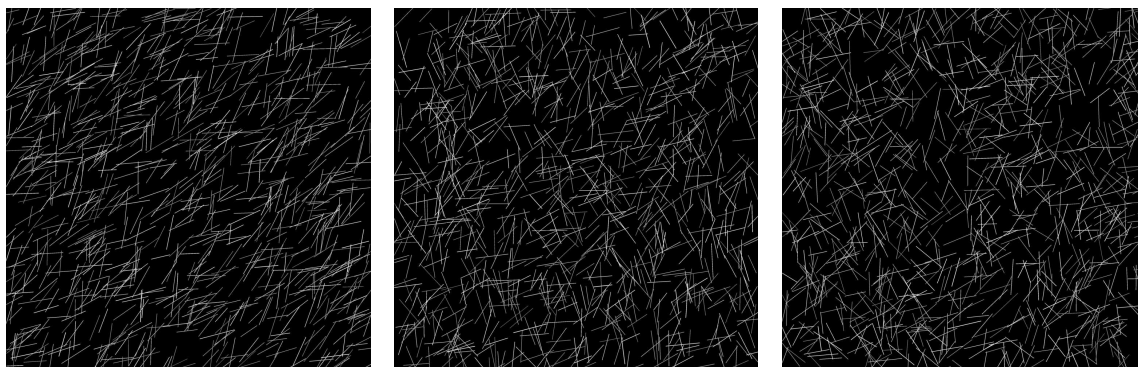
Sada A



A1

A2

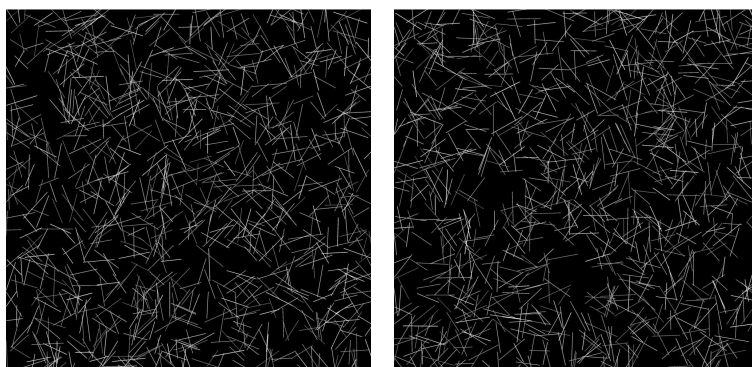
A3



A4

A5

A6



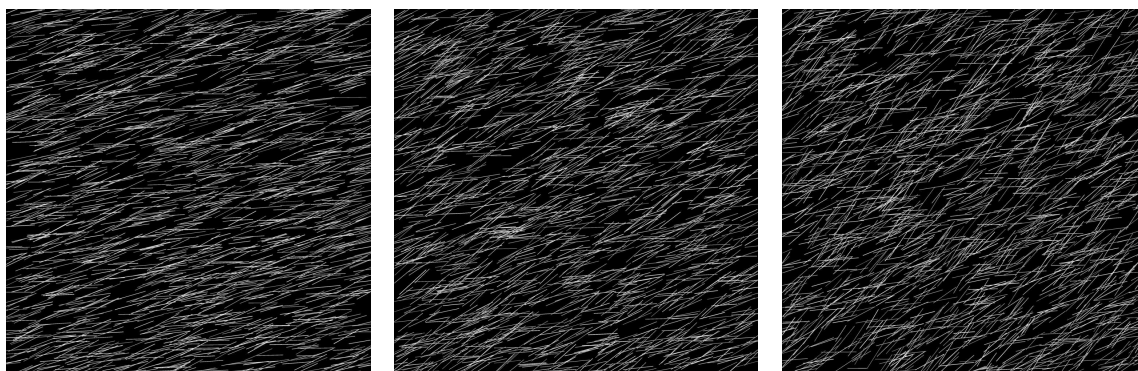
A7

A8

Obr. 14 Obrazy sady A: A1 – 1000 objektů 0° - 30° , A2 – 1000 objektů 0° - 45° , A3 – 1000 objektů 0° - 60° , A4 – 1000 objektů 0° - 90° , A5 – 1000 objektů 0° - 135° , A6 – 1000 objektů 0° - 150° , A7 – 1000 objektů 0° - 165° , A8 – 1000 objektů 0° - 180° .

..

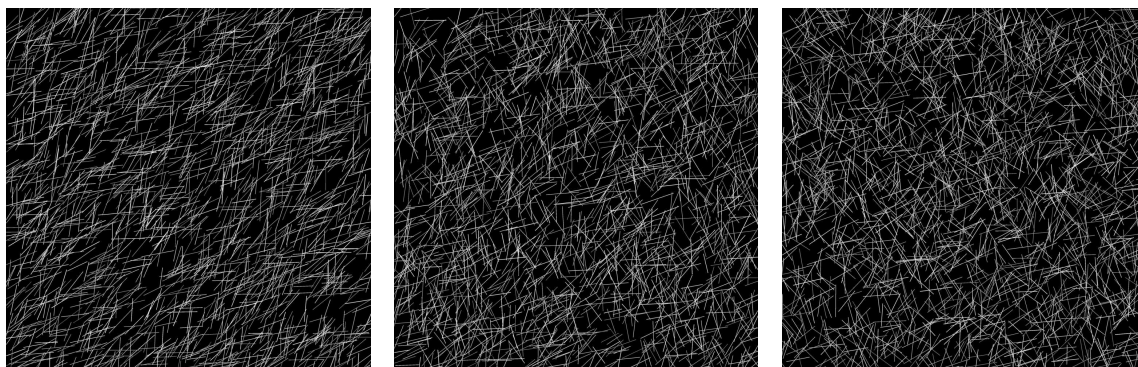
Sada B



B1

B2

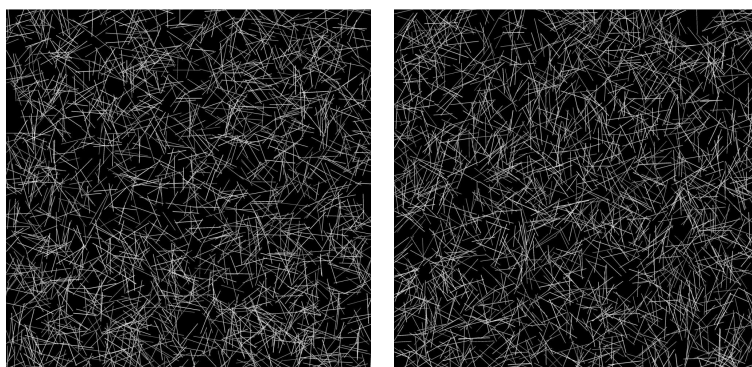
B3



B4

B5

B6

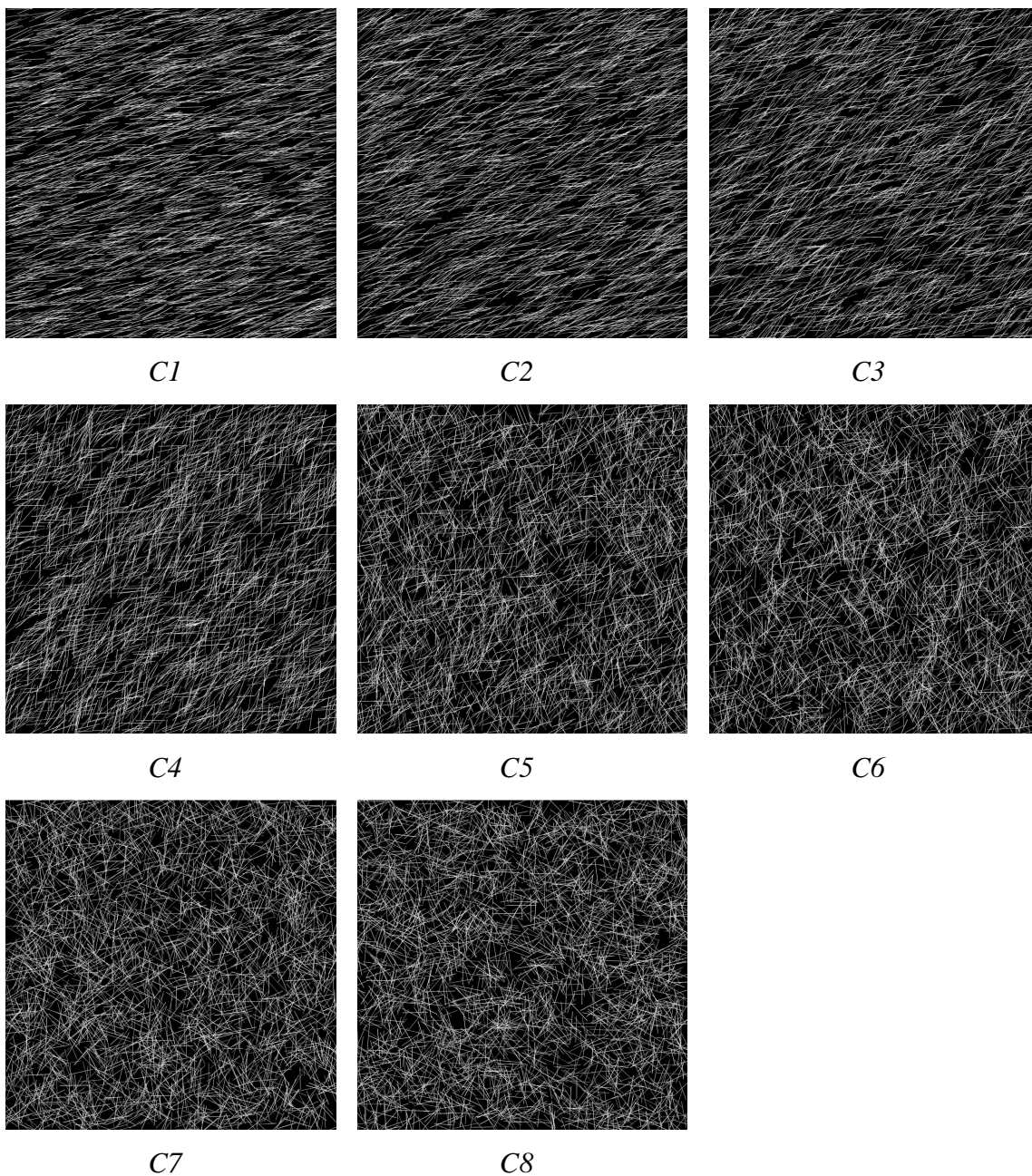


B7

B8

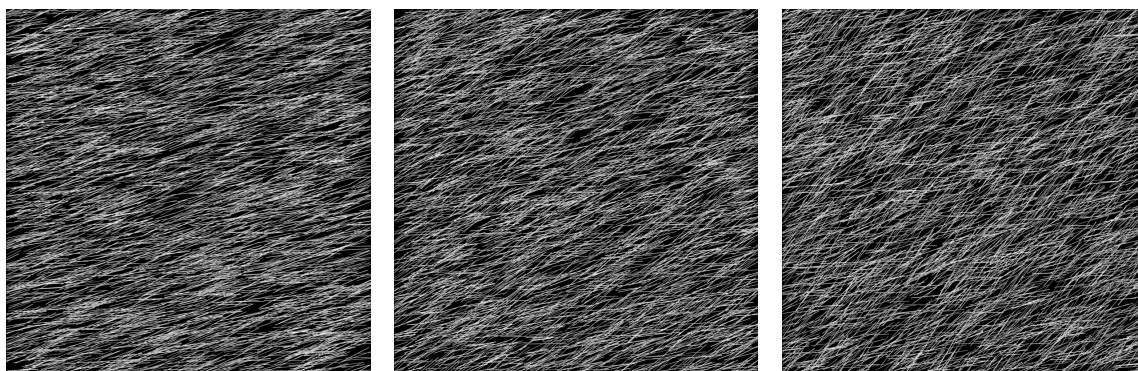
Obr. 15 Obrazy sady B: B1 – 2000 objektů 0° - 30° , B2 – 2000 objektů 0° - 45° , B3 – 2000 objektů 0° - 60° , B4 – 2000 objektů 0° - 90° , B5 – 2000 objektů 0° - 135° , B6 – 2000 objektů 0° - 150° , B7 – 2000 objektů 0° - 165° , B8 – 2000 objektů 0° - 180° .

Sada C



Obr. 16 Obrazy sady C: C1 – 3000 objektů 0° - 30° , C2 – 3000 objektů 0° - 45° , C3 – 3000 objektů 0° - 60° , C4 – 3000 objektů 0° - 90° , C5 – 3000 objektů 0° - 135° , C6 – 3000 objektů 0° - 150° , C7 – 3000 objektů 0° - 165° , C8 – 3000 objektů 0° - 180° .

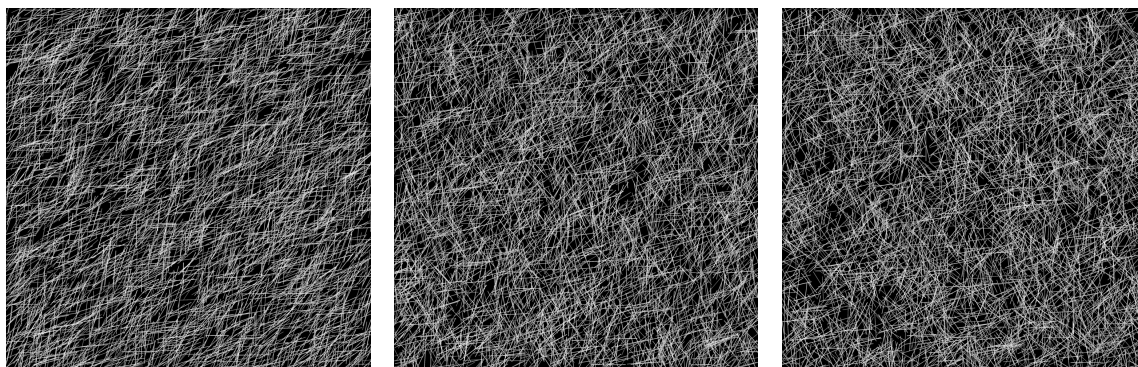
Sada D



D1

D2

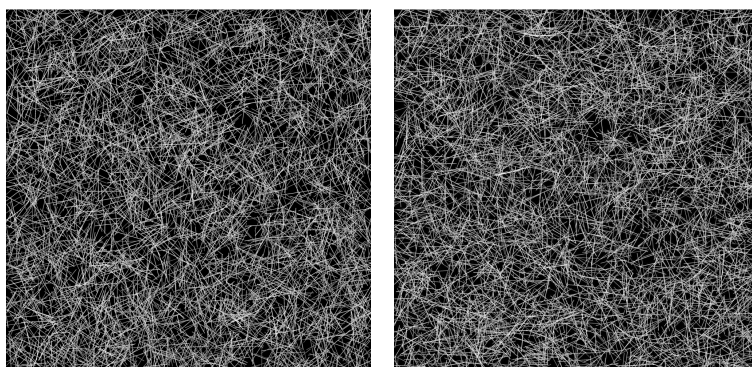
D3



D4

D5

D6

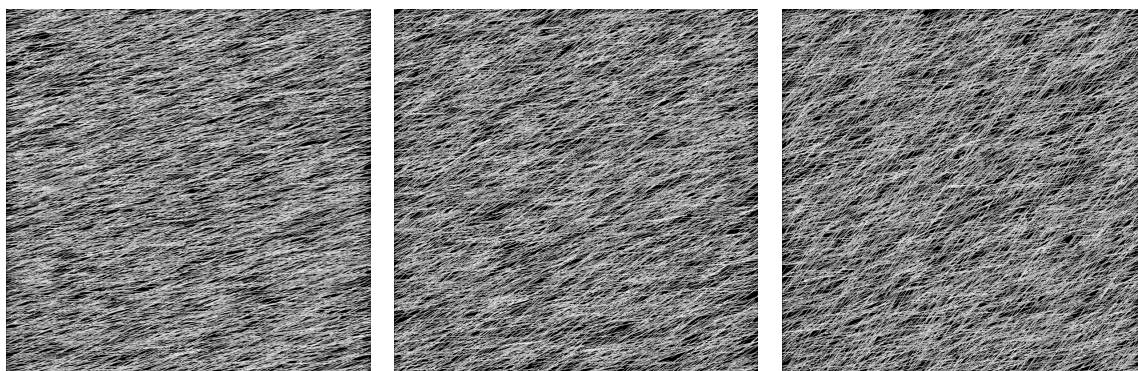


D7

D8

Obr. 17 Obrazy sady D: D1 – 5000 objektů 0° - 30° , D2 – 5000 objektů 0° - 45° , D3 – 5000 objektů 0° - 60° , D4 – 5000 objektů 0° - 90° , D5 – 5000 objektů 0° - 135° , D6 – 5000 objektů 0° - 150° , D7 – 5000 objektů 0° - 165° , D8 – 5000 objektů 0° - 180° .

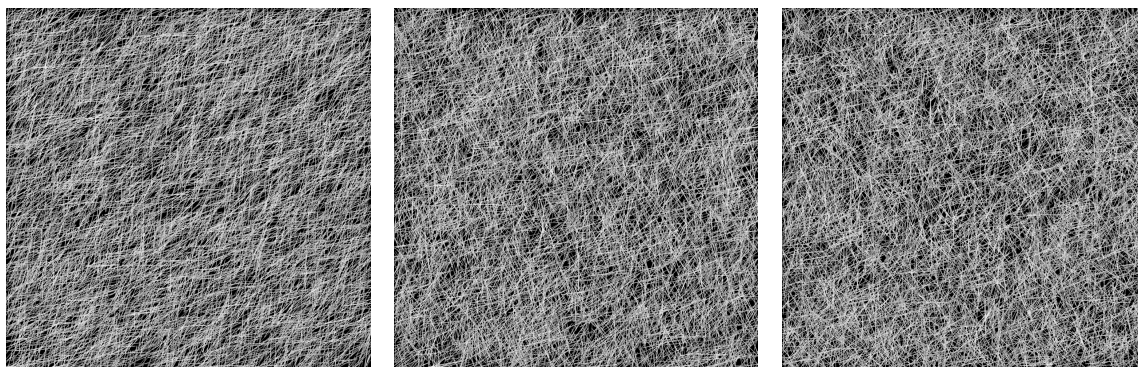
Sada E



E1

E2

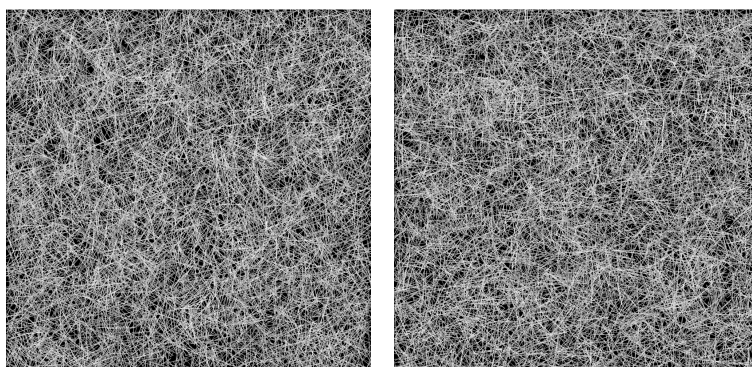
E3



E4

E5

E6



E7

E8

Obr. 18 Obrazy sady E: *E1* – 10000 objektů 0° - 30° , *E2* – 10000 objektů 0° - 45° , *E3* – 10000 objektů 0° - 60° , *E4* – 10000 objektů 0° - 90° , *E5* – 10000 objektů 0° - 135° , *E6* – 10000 objektů 0° - 150° , *E8* – 10000 objektů 0° - 165° , *E9* – 10000 objektů 0° - 180° .

6. Metodika určení orientace vláken

Určení směrové orientace vláken v ploše vychází z práce [1], která se zabývá odhadem orientace vláknenných systémů. V tomto článku autoři popisují dvě vyvinuté metody pro odhad směrové orientace. Obě metody využívají obrazovou analýzu, přičemž využívají nástrojů založených na spektrálním přístupu. Tyto nástroje převedou obrazy do frekvenčního spektra, kterým je možné vhodně popsat směrovost v monochromatických obrazech. Převod do frekvenčního spektra je proveden pomocí Fourierovy transformace. Tato transformace má odezvu na náhlé změny intenzity jasu pixelů, jež představují hrany v obrazu. Díky této vlastnosti se ukazuje Fourierova transformace jako vhodný nástroj k hodnocení směrové orientace vláken v obrazu vláknenných systému.

6.1 Odhad směrové orientace objektů

V dvourozměrném obrazu, kde $x = 0, 1, 2, 3, \dots, m - 1$ a $y = 1, 2, 3, \dots, n - 1$ představují prostorové souřadnice a $f(x, y)$ je úroveň šedi bodů obrazu. Vztah pro Fourierovu transformaci takového obrazu je dána vztahem [16]

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/m + vy/n)}, \quad (14)$$

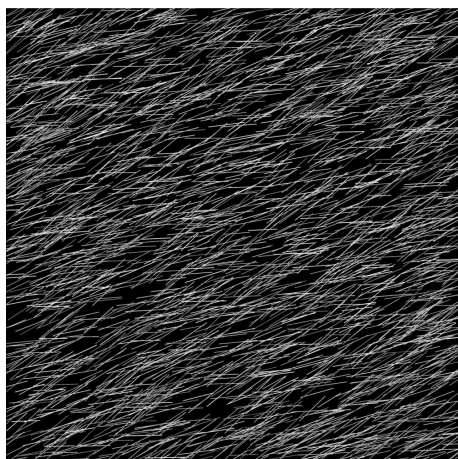
kde $u = 0, 1, 2, 3, \dots, m - 1$ a $v = 0, 1, 2, 3, \dots, n - 1$ jsou frekvenční proměnné. $F(0, 0)$ je počátek frekvenční oblasti. Výkonové spektrum je napočteno jako dle vztahu

$$P(u, v) = |F(u, v)|^2. \quad (15).$$

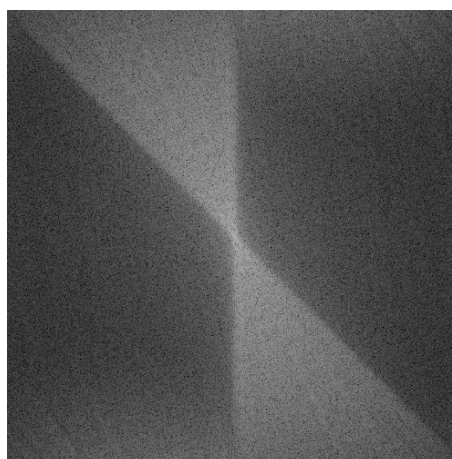
Z důvodu vizualizace je vhodné zredukovat rozsah koeficientů logaritmickou transformací danou vztahem

$$Q(u, v) = \log(1 + P(u, v)). \quad (16).$$

Pokud v prostorové oblasti obrazu mají objekty určitý převažující směr, ve frekvenční oblasti tomuto směru odpovídá rozložení vysokých hodnot frekvenčních komponent, které je však otočeno o 90° , jak je zobrazeno na obr 19 (a)-(b).



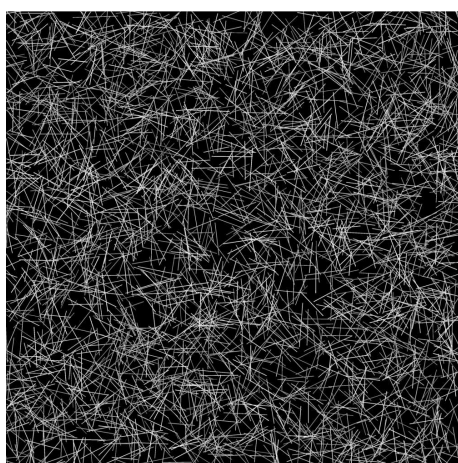
(a)



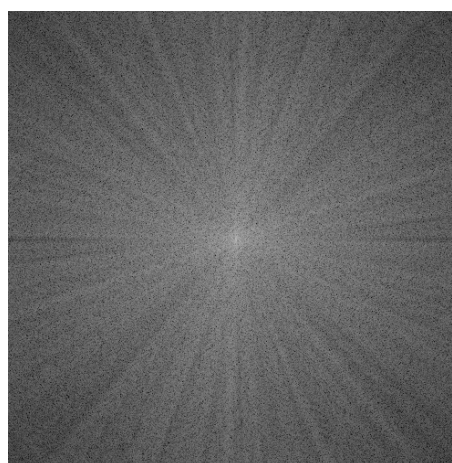
(b)

Obr. 19 Převedení obrazu do frekvenčního spektra, (a) obraz se směrovým rozložením objektů na intervalu $0^\circ - 45^\circ$, (b) frekvenční spektrum obrazu (a).

Rovnoměrné rozložení směrů v prostorové oblasti obrazu je ve výkonovém spektru zobrazeno isotropním rozložením vysokých frekvenčních komponent, které tvoří přibližně kruhový tvar, viz obr. 20 (a), (b).



(a)



(b)

Obr. 20 (a) Převedení obrazu s 1000 objekty se směrovým rozložením $0 - 180^\circ$ do (b) výkonového spektra.

Na obrazu 19 (b) je patrné, že výkonové spektrum obrazu s preferovaným směrem je otočené o 90° , proto před dalším zpracováním je nutné matici s výkonovým spektrem otočit o 90° . Dalším krokem je transformace výkonového spektra do binárního obrazu, čímž dojde k oddělení významných frekvenčních komponent. Rozložení komponent odpovídá rozložení převažujících směrů objektů ve zkoumané oblasti.

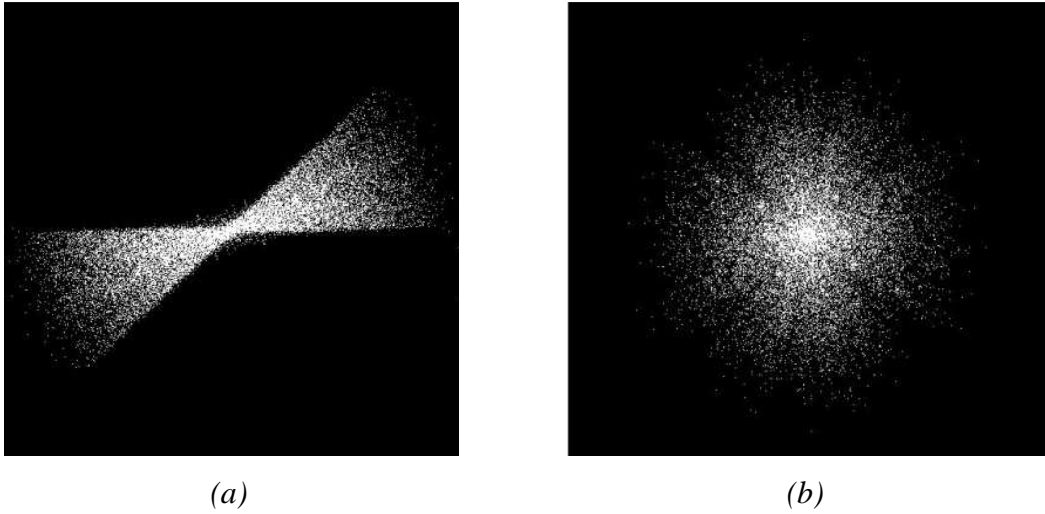
Transformace do binárního obrazu je provedena prahováním, které převádí vstupní obraz do binárního dle následujícího vztahu

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{jestliže } f(x, y) > T, \\ 0 & \text{jestliže } f(x, y) \leq T, \end{cases} \quad (17)$$

kde T představuje prahovou hodnotu, která je získána ze vztahu 21.

$$T = \frac{1}{2} \max(f(x, y)). \quad (18)$$

V tomto obrazu představuje oblast zájmu shluk bílých bodů, viz obr. 20 (b).



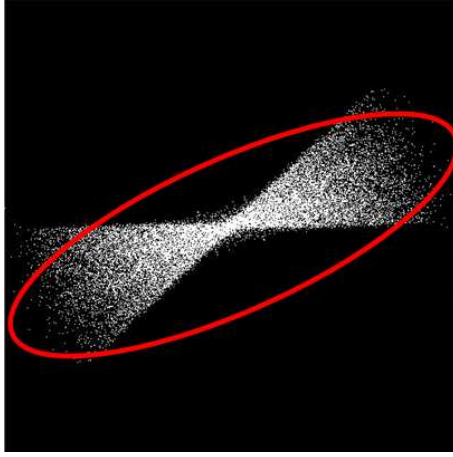
Obr. 21 Oblast významných frekvenčních komponent odpovídající směrovému rozložení objektů, (a) binární obraz výkonového spektra obrazu s preferovaným směrem, (b) binární obraz výkonového spektra obrazu s nepreferovaným směrem.

Pro popis objektů významných frekvenčních komponent je vhodné využít 2D obecných a centrálních momentů. 2D obecný moment řádu $(p + q)$ obrazové funkce $f(x, y)$ je dán vztahem

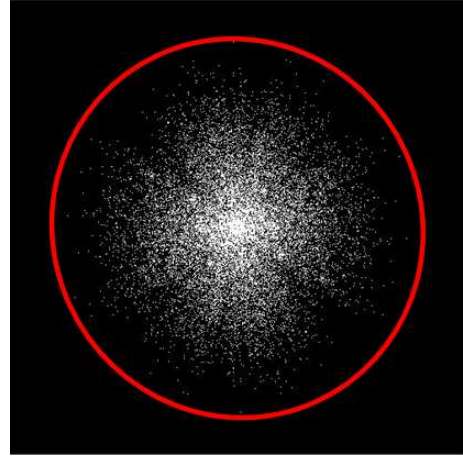
$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y). \quad (19)$$

Pomocí obecných momentů lze určit některé charakteristiky objektů v obraze. Například je možné pomocí obecného momentu m_{00} pro binární obraz zjistit plochu objektu.

Směrová orientace objektů ve zkoumané oblasti je získána z binárních obrazů významných frekvenčních komponent, které jsou proloženy elipsou. Proložení komponent elipsou je zobrazeno na obr. 22 (a), (b).



(a)



(b)

Obr. 22 (a) Binární obraz z výkonového spektra obrazu s preferovaným směrem s proloženou elipsou, (b) binární obraz z výkonového spektra obrazu s nepreferovaným směrem s proloženou elipsou.

Vypočtením poměru mezi hlavní a vedlejší osou elipsy je zjištěno, zda má objekt preferovaný směr či nikoliv. K určení velikosti hlavní a vedlejší osy v obrazu jsou využity centrální momenty prvního a druhého řádu. Centrální moment řádu $(p + q)$ má podobu

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y), \quad (20)$$

kde \bar{x} je dáno vztahem

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}. \quad (21)$$

Informace o velikosti os elipsy je získána z kovarianční funkce

$$\text{cov } f(x, y) = \begin{pmatrix} \frac{\mu_{20}}{\mu_{00}} & \frac{\mu_{11}}{\mu_{00}} \\ \frac{\mu_{11}}{\mu_{00}} & \frac{\mu_{02}}{\mu_{00}} \end{pmatrix}. \quad (22)$$

Vlastní vektory kovarianční matice představují hlavní a vedlejší osu elipsy. Vlastní vektory λ_1 a λ_2 kovarianční matice mají následující formu

$$\lambda_i = \frac{\mu_{20} + \mu_{02}}{2} \pm \frac{\sqrt{4\mu_{11}^2 + (\mu_{20} - \mu_{02})^2}}{2}, i = 1, 2. \quad (23)$$

Vlastní vektory odpovídají délce poloos. Pokud platí vztah

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} > 1, \quad (24)$$

je v obraze preferovaný směr. Úhlem v rozmezí -90° až 90° mezi hlavní poloosou elipsy a osou x je dána orientace objektu, viz obr. 23 (a), (b).



Obr. 23 Zobrazení metodiky určení orientace elipsy objektu [3].

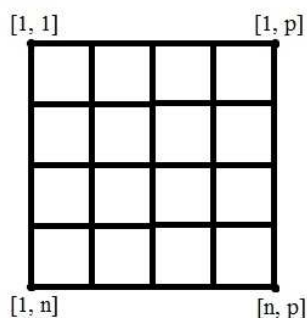
Tento úhel je vypočten podle vztahu 28, který platí pro binární obraz.

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctan \left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}} \right) \quad (25)$$

K popsání směrové orientace v obraze nestačí pouze globální výpočet. Pro správné určení směrů objektů v obraze je třeba vstupní obraz rozdělit na dílčí podokna, ve kterých bude hodnocena směrová orientace pomocí Fourierovy transformace [3].

6.2 Hodnocení směrové orientace v ploše

Vstupní obraz je při zpracování rozdělen na n menších podoken o stejné velikosti. Počátek obrazu je určen v levém horním rohu obrazu. Vstupní obraz bude zpracován systematicky, jak je zobrazeno na obr. 25. Žádné podokna se nebudou překrývat a bude vyhodnocena celá plocha obrazu.



Obr.24 Zobrazení rozdělení vstupního obrazu na menší podokna.

6.3 Způsob vyhodnocení směrové orientace

V každém dílčím čtverci bude vyhodnocena směrová orientace pomocí metody založené na prokládání elipsy oblastí zájmu v obraze výkonového spektra popsané v kapitole 6.1. Tímto postupem jsou získány informace o hodnotě směru vláken ve všech podoknech. Z těchto hodnot bude vytvořen histogram odhadů četností směrů v podoknech.

Histogram je všeobecně typ sloupcového grafu, kde na ose x je šířka třídy a na ose y je vynesena četnost jevů v jednotlivých třídách. Pro odhad hustoty pravděpodobnosti byl v této práci využit normalizovaný histogram, kde plocha všech sloupců je rovna jedné. Obor hodnot histogramu představoval úhly, které svírají objekty s osou x a pohyboval se v intervalu od -90° do 90° . Šířka třídního intervalu byla stanovena na 5° . Výška sloupců vynesena na ose y je dána vztahem

$$\hat{f}(x) = \frac{n_i}{nh}, \quad (26)$$

kde n_i představuje četnost směrů v i -té třídě a h je šířka třídy. Odhad hustoty pravděpodobnosti výskytu jednotlivých směrů je následně porovnán s požadovanou distribucí směrové orientace pomocí testu dobré shody χ^2 .

6.4 Pearsonův χ^2 test dobré shody

Tento test patří mezi testy dobré shody, které umožňují ověřit, zda má náhodná veličina předpokládané rozdělení pravděpodobnosti. Nulová hypotéza definuje, že data mají předpokládané rozdělení. Oproti tomu alternativní hypotéza říká, že data nepocházejí z předpokládaného rozdělení. Princip této metody spočívá v porovnání

skutečné hodnoty četnosti jevu s očekávanou četností jevu. Prvním krokem při aplikaci tohoto testu, je rozdělení oboru všech hodnot náhodné veličiny na k částí, které se nepřekrývají. Pro každou část je stanovena pravděpodobnost výskytu náhodné veličiny. Po N pokusech je napočteno, z kolika pokusů nabyla náhodná veličina hodnot z 1., 2., ..., k -té části. Četnosti jsou označeny jako X_1, X_2, \dots, X_k . Posledním krokem je porovnání očekávaných četností v jednotlivých částech se skutečnými četnostmi

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(X_i - Np_i)^2}{Np_i}, \quad (37)$$

kde N je celkový počet pokusů a p_i je očekávaná pravděpodobnost výskytu jevu v jednom pokusu. Výraz Np_i představuje očekávanou četnost jevu v i -té části. V případě, že má náhodná veličina předpokládané rozdělení, pak má náhodná veličina přibližně χ^2 rozdělení s $n-1$ stupni volnosti. Testová statistika χ^2 se porovnává s kritickou hodnotou z tabulek χ^2 na hladině významnosti α . Pokud je testová statistika větší než kritická hodnota, pak je nulová hypotéza zamítnuta. V opačném případě se nulová hypotéza nezamítá [15].

6.4.1 Metody stanovení modelu očekávaných hodnot

Porovnání relativních četností směrů objektů lze provést pomocí následujících dvou metod:

1. Metoda vycházející z teoretické distribuce

V tomto případě očekávaná hodnota vychází z hustoty pravděpodobnosti nebo z distribuční funkce teoretického rozdělení. Například při testování rovnoměrného rozložení směrů by měla být četnost směrů v konstruovaném histogramu ve všech třídách stejná. Proto je při testování vhodné použít teoretickou distribuční funkci rovnoměrného rozdělení.

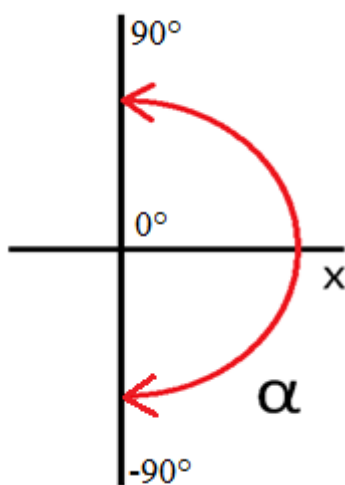
2. Metoda stanovení očekávané četnosti podle reprezentativního vzorku

Pokud není možné popsat výskyt náhodné veličiny teoretickou distribucí, je třeba zvolit jiný způsob získání očekávané hodnoty. Pro stejný příklad, jaký je uvedený u první metody, je očekávaná hodnota napočtena z reprezentativního vzorku. Navrženou metodikou je napočtena četnost směrů ve vzorku, který splňuje požadavky na směrovou orientaci. Získané četnosti budou dále použité jako očekávané četnosti.

7. Testování směrové orientace objektů generovaných sad obrazů

V rámci testování směrové orientace objektů byly testovány všechny generované sady simulovaných vlákenných systému s přibližně stejnými výsledky. V následující kapitole bude na reprezentativním vzorku B8 z generovaných sad obrazů předvedena funkčnost metodiky stanovení směrové orientace objektů v ploše.

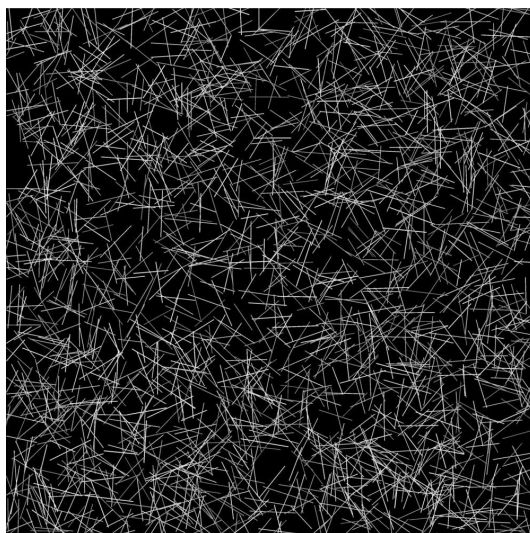
Úhel sklonu objektů je vyhodnocován jinak než při generování obrazu, tento způsob je znázorněn na obr. 25.



Obr. 25 Vyhodnocování směrové orientace objektů.

7.1 Testování obrazu se směrovým rozložením objektů $0^\circ - 180^\circ$

V rámci ukázky postupu a efektivity objektivní metody pro zjištění směrové orientace objektů byl vybrán reprezentativní vzorek B8 ze sady testovacích vzorků B, který je zobrazen na obr. 26. Rozměry testovaného vzorku B8 jsou 1000 x 1000 pixelů. V tomto obraze se nachází 2000 objektů, které jsou orientované do všech směrů se stejnou pravděpodobností.

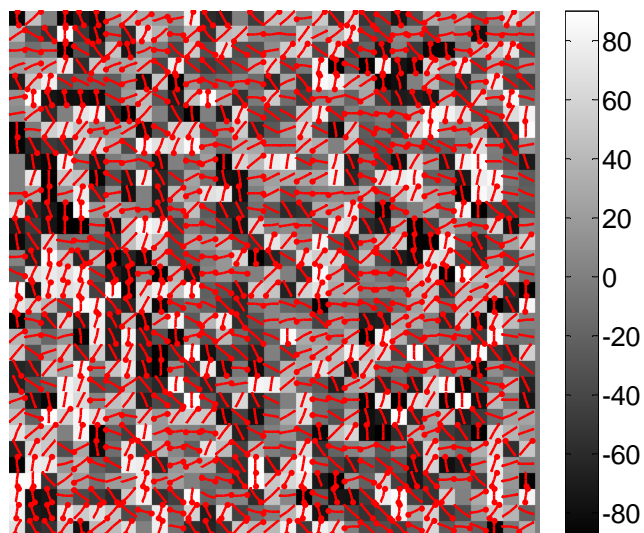


Obr. 26 Zobrazení testovaného obrazu vzorku B8.

Cílem experimentu je tedy ověřit, zda rozložení směrů objektů pochází z rovnoměrného rozdělení. Prvním krokem je rozdělení vstupního obrazu na malá podokna. Pro testovací účely byla velikost podokna experimentálně stanovena na 30x30 pixelů. Celkem je tedy obraz rozdělen na 1089 dílčích obrazů, tzn. 1089 výsledků směrové orientace použitých k provedení testu dobré shody. V každém takovém podokně je vyhodnocena směrová orientace objektů podle metody popsané v kapitole 5.1.

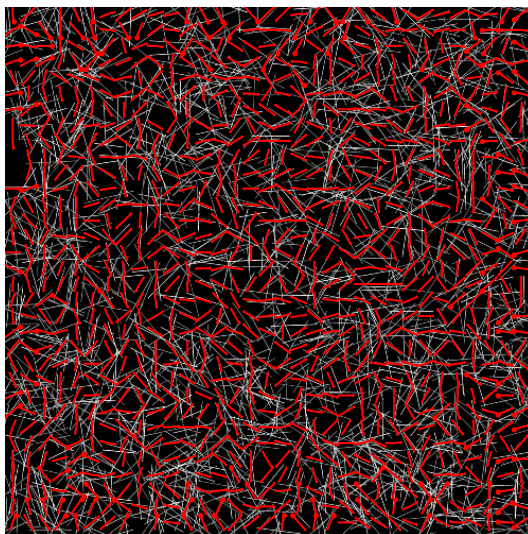
U obrazů s menším počtem objektů může zřídka nastat případ, kdy v podokně se nenachází žádný objekt. Takové podokna nedokáže Fourierova transformace vyhodnotit, proto je do obrazu přidán velice malý Gaussův šum s parametry (μ, σ) , kde μ představuje střední hodnotu a σ rozptyl. Gaussův šum odpovídá šumu vyskytujícímu se na většině reálných fotografií. Vyhodnoceny jsou pak pouze podokna, ve kterých je prokázán preferovaný směr. Ten se určí pomocí poměru hlavní a vedlejší osy podle kapitoly 6.1.

Na obrázku 27 je zobrazena mapa vyhodnocených směrů v testovaném vzorku B8. Pro každé podokno je červenou úsečkou znázorněn odhad preferovaného směru.



Obr. 27 Vyhodnocení směrové orientace v podoknech obrazu vzorku B8.

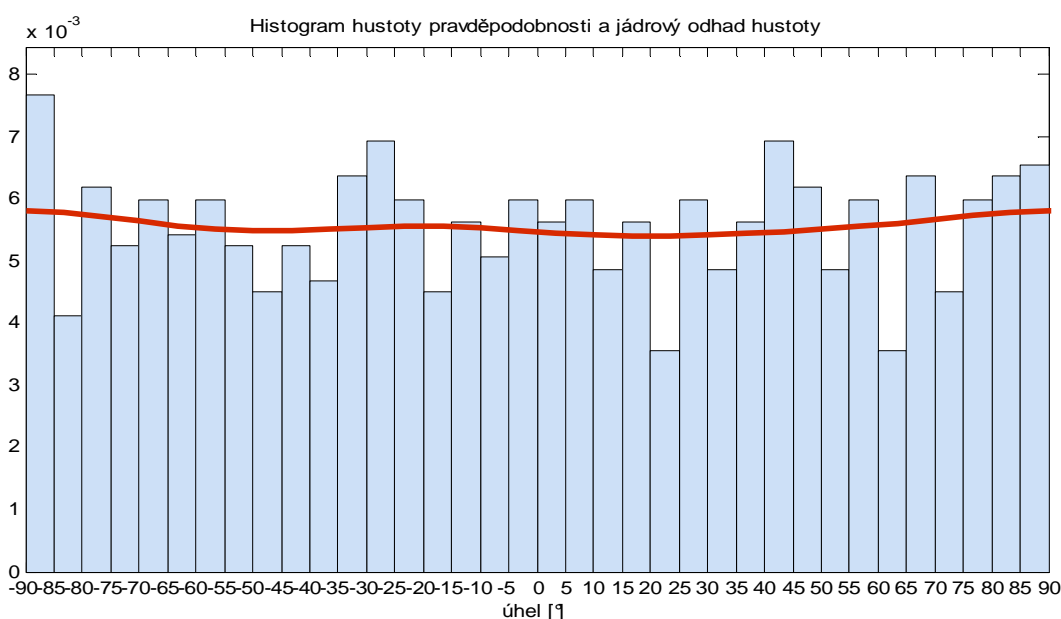
Podokna jsou podbarvené dle škály, která vyjadřuje, jaký úhel svírá přímka směru s osou x . V obraze 28 jsou směrové přímky vloženy do vstupního obrazu. V obrazu je zřetelné, že úsečky dobře popisují směr objektů v originálním obrazu.



Obr. 28 Zobrazení přímek popisujících preferovaný směr objektů ve vstupním obrazu vzorku B8.

7.2 Vyhodnocení směrové orientace obrazu se směrovou orientací 0° - 180°

Informace o preferovaném směru ve všech podoblastech bude použita pro vytvoření normalizovaného histogramu četností směrové orientace. V histogramu bude vytvořeno celkem 36 tříd pro interval oboru hodnot -90° až 90°, každá třída bude mít tudíž šířku 5°. Normalizovaný histogram četností směrové orientace vzorku B8 s jádrovým odhadem hustoty je zobrazen na obr. 32.



Obr. 29 Histogram relativních četností vzorku B8 s jádrovým odhadem preferovaných směrů v podoknech.

Jádrový odhad pravděpodobnosti hustoty je neparametrickým odhadem. Jedná se o vážený klouzavý průměr, jehož kvalita je dána šířkou vyhlazovacího okna. Jádrový odhad hustoty pravděpodobnosti je dán vztahem

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nk} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{k}\right), \quad (28)$$

kde funkce $K(t)$ je jádro a k představuje šířku vyhlazovacího okna. Jádro zpravidla tvoří symetrická hustota pravděpodobnosti, v tomto případě je to hustota Gaussova rozdělení[15]. Šířka vyhlazovacího okna byla experimentálně stanovena na hodnotu 20.

Histogram slouží jako odhad hustoty pravděpodobnosti náhodné veličiny. Získaný odhad hustoty pravděpodobnosti směrů objektů bude dále porovnán s teoretickým modelem pomocí testu dobré shody (popsaném v kapitole 5.3).

Nulová hypotéza v této práci představuje, že četnosti směrů objektů pocházejí z rovnoměrného rozdělení. Alternativní hypotéza definuje, že četnosti směrů nepocházejí z rovnoměrného rozdělení a tudíž směrová orientace objektů není ve všech směrech stejná. Statistické testování bude prováděno na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Zda-li bude zamítnuta H_0 nebo H_1 na zadané hladině významnosti rozhodne porovnání hodnoty chí – kvadrát testové statistiky s kritickou hodnotou z tabulek. Kritická hodnota představuje hodnotu $\chi^2_{n-1}(1-\alpha)$, která je vyhledána na hladině významnosti α v chí – kvadrát tabulkách s daným stupněm volnosti ($n-1$). Jestliže je $\chi^2_{n-1}(1-\alpha) < \chi^2$, potom je nulová hypotéza zamítnuta a je přijata hypotéza alternativní, tzn. rozložení směrů v obrazu není homogenní. V opačném případě nulová hypotéza není zamítnuta, což znamená, že je přijat předpoklad o homogenitě směrového rozložení objektů v obraze.

V ukázkovém obrazu byla vypočtena testová statistika s výsledkem $\chi^2 = 28,88$. Pro kritický obor hodnot byla v tabulkách nalezena hodnota $\chi^2_{n-1}(1-\alpha) = 49,8018$. Platí nerovnost $\chi^2_{n-1}(1-\alpha) > \chi^2$, to znamená, že hypotéza H_0 na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ není zamítnuta. Dalším způsob, podle kterého lze rozhodnout, která hypotéza bude přijata, je rozhodnutí podle p - hodnoty. P - hodnota udává mezní hladinu, na které by byla ještě H_0 zamítnuta. Tzn., H_0 bude zamítnuta na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ pokud bude p - hodnota menší než hladina významnosti. Při testování reprezentativního vzorku byla p - hodnota stanovena na 0,7779.

Stejným způsobem byly vyhodnoceny osmé obrazy u všech sad, u kterých bylo zjišťováno, zda dokáže metodika určit směrové rozložení, se kterým byly obrazy vytvořeny. Výsledky testování jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3: Výsledky testu dobré shody.

Vzorek	$\chi^2_{n-1}(1-\alpha)$	χ^2	P - hodnota
A8	49,8	41,33	0,21
B8	49,8	28,88	0,78
C8	49,8	32,74	0,58
D8	49,8	33,43	0,54
E8	49,8	43,1	0,16

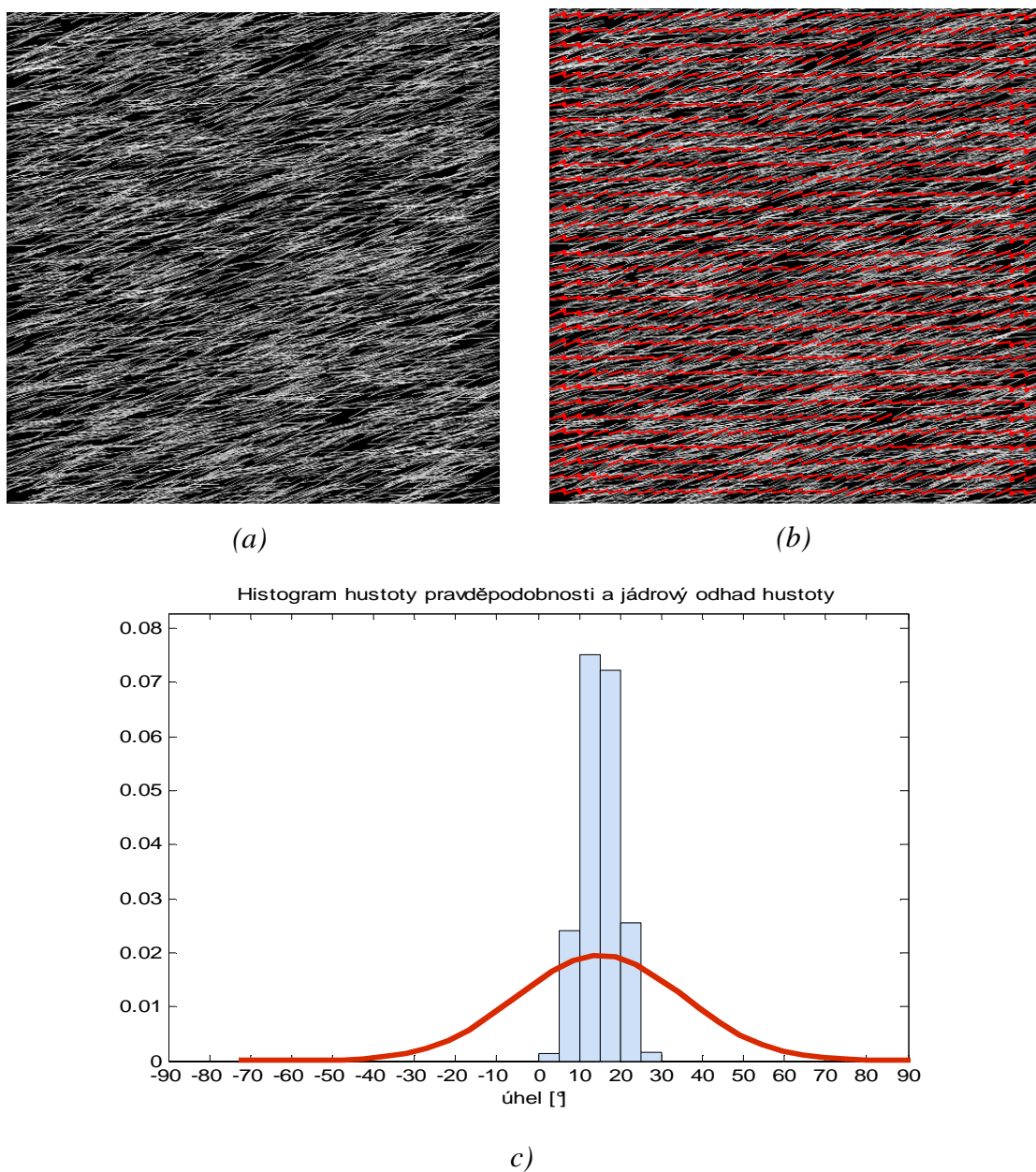
Jak je vidět v tabulce 3, u všech obrazů byla přijata H_0 a bylo tedy ověřeno, že rozložení směrů objektů v obraze pochází z rovnoměrného rozdělení. Testováním směrové orientace v ploše reprezentativních vzorků byla prokázána schopnost metodiky ověřit homogenitu směrového rozložení.

7.3 Testování generovaných sad obrazů s různým rozložením směrů

V případě požadavku určité směrové orientace vláken v textilií je možné navrženou metodikou odhadnout, zda vlákna mají požadovanou směrovou orientaci. Metodikou lze učinit odhad úhlů, které svírají objekty s osou x . Tato schopnost bude prezentována na několika vybraných obrazech sady D, které obsahují 5 000 objektů.

Testování obrazu D1

Obraz D1 obsahuje objekty svírající úhel s osou x v intervalu 0° až 30° . Na obr. 33 (a)-(c) jsou znázorněné výsledky metodiky.

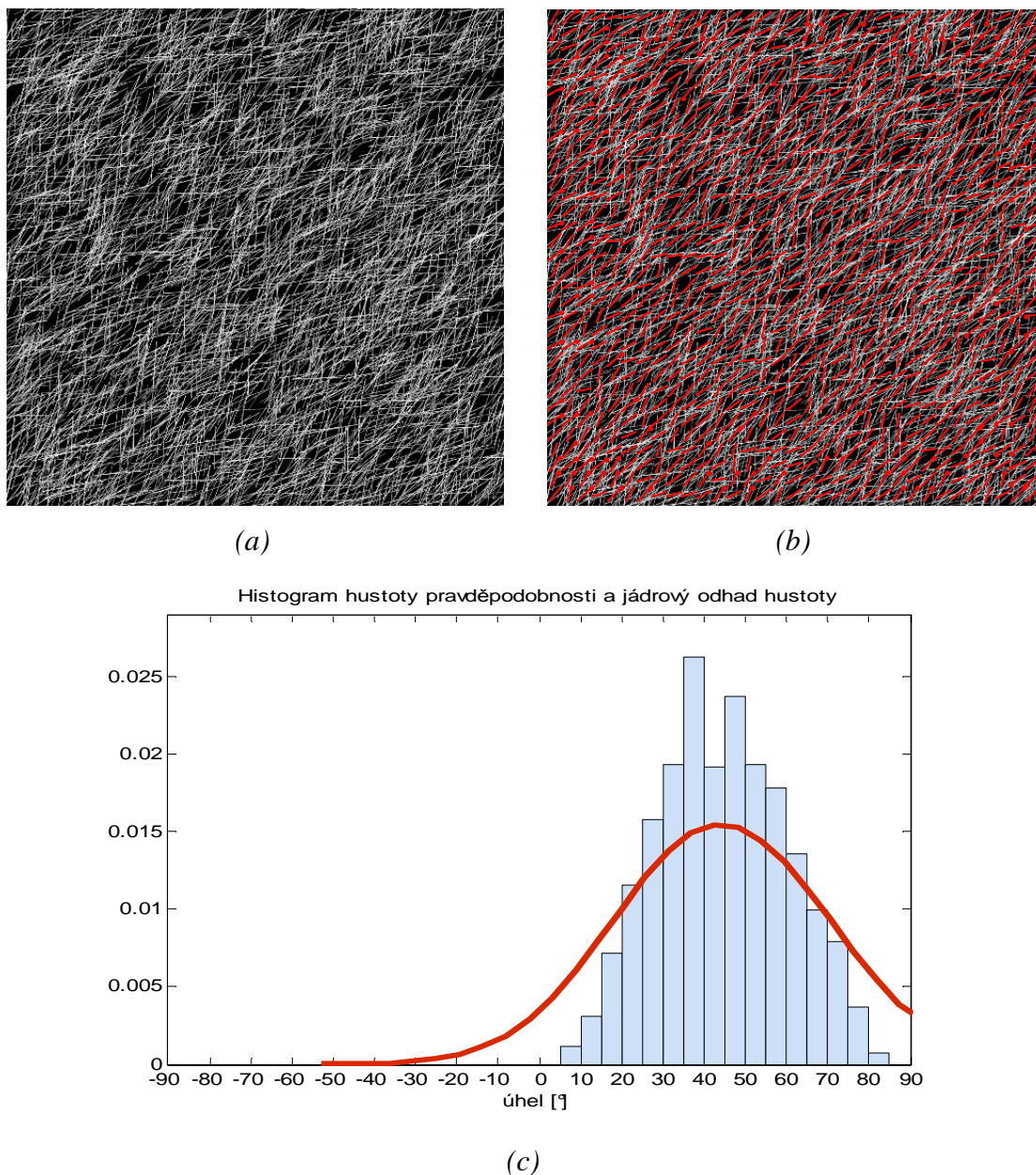


Obr. 30 Zobrazení výsledku navržené metodiky s jádrovým odhadem hustoty pro obraz D1: (a) originální obraz, (b) originální obraz s odhadem směrů, (c) histogram hustoty pravděpodobnosti.

Z histogramu je jasně vidět, že obraz obsahuje pouze objekty preferující směr v úhlovém rozmezí 0° – 30° . V tomto intervalu úhlů byly objekty obrazu generovány, tudíž na základě metodiky bylo správně odhadnuto směrové rozložení objektů.

Testování obrazu D4

Obraz D4 obsahuje objekty svírající úhel s osou x v intervalu $0 - 90^\circ$. Na obrazu 31 (a)-(c) jsou zobrazeny výsledky.

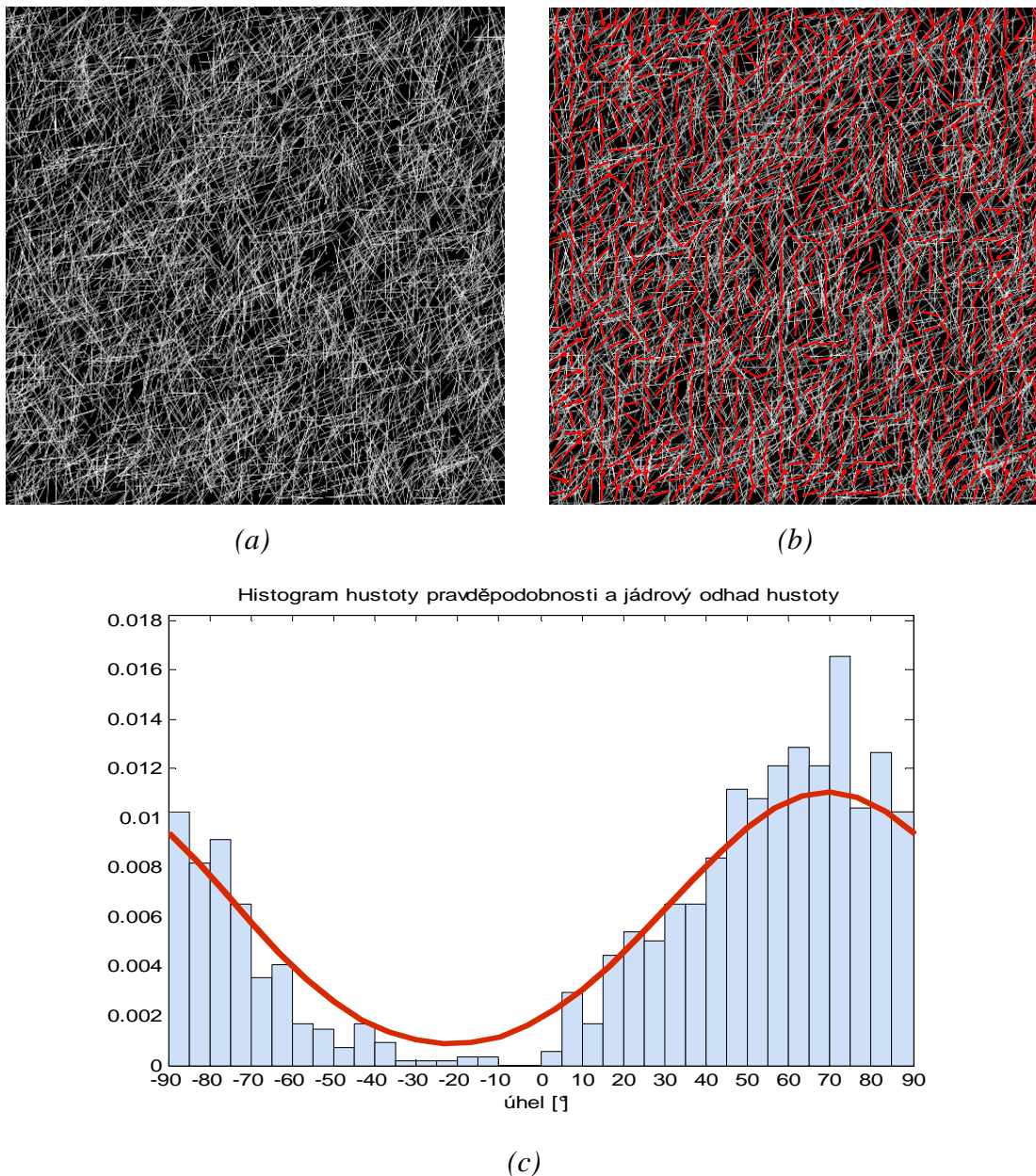


Obr. 31 Zobrazení výsledku navržené metodiky s jádrovým odhadem hustoty pro obraz D4: (a) originální obraz, (b) originální obraz s odhadem směrů, (c) histogram hustoty pravděpodobnosti.

Z histogramu hustoty pravděpodobnosti je vidět, že pomocí navržené metodiky byly správně odhadnuty směry objektů vyskytující se v obrazu, které byly vygenerované v rozmezí $\langle 0^\circ | 90^\circ \rangle$.

Testování obrazu D5

Obraz D5 obsahuje objekty svírající úhel s osou x v intervalu 0° až 90° a -45° až -90° . Na obrázku 32 (a)-(c) jsou zobrazeny výsledky.

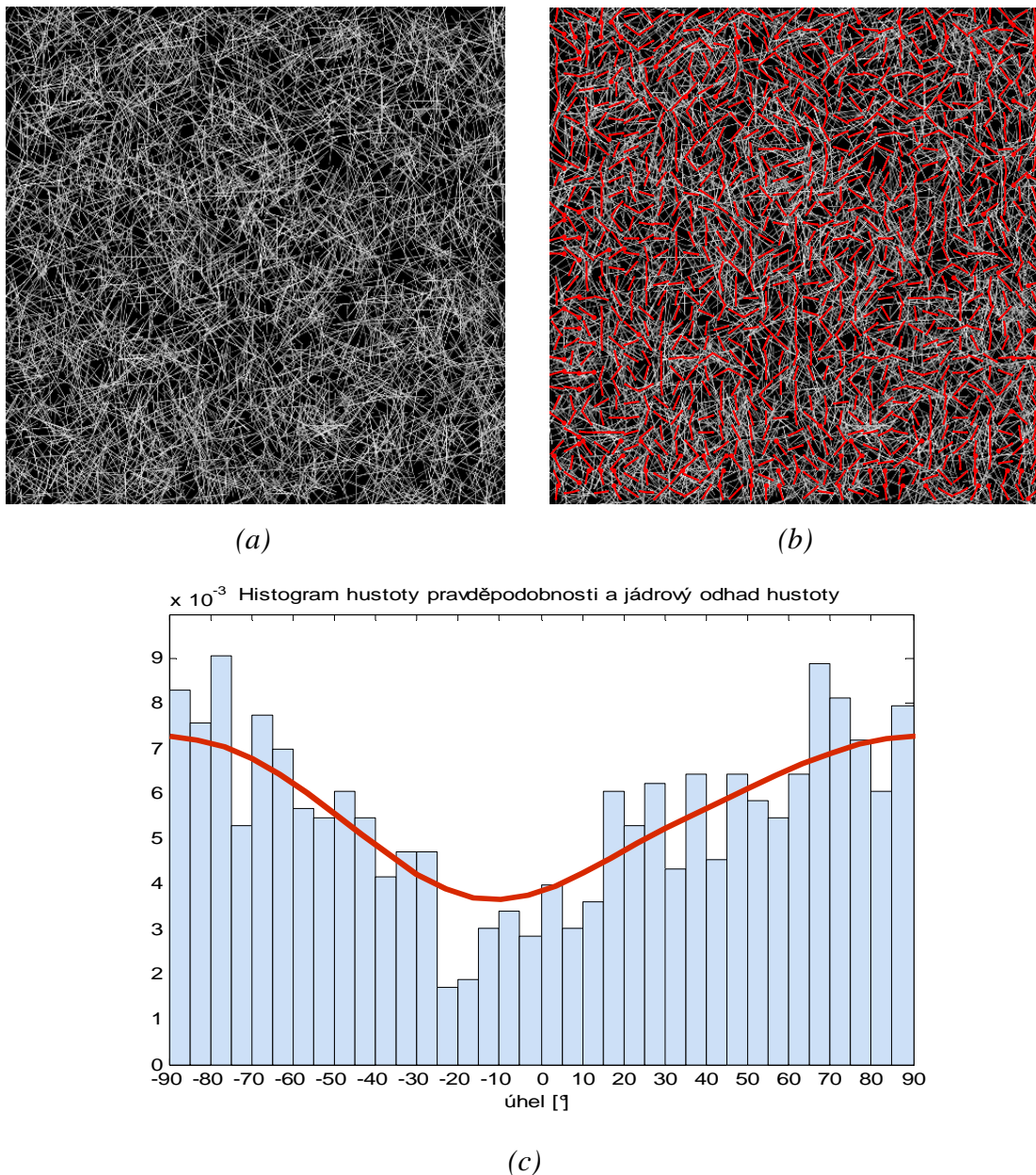


Obr. 32 Zobrazení výsledku navržené metodiky s jádrovým odhadem hustoty pro obraz D5: (a) originální obraz, (b) originální obraz s odhadem směrů, (c) histogram hustoty pravděpodobnosti).

Pomocí navržené metodiky bylo zjištěno, že zastoupení směrů v intervalu 0° až -45° je velice malé. Výsledný odhad je tedy shodný s generovaným směrovým rozložením objektů.

Testování obrazu D7

Obraz D7 byl vygenerován s rozložením směrů v intervalu 0 až 90° a -15 až -90°. Na obr.33 (a)-(c) jsou zobrazeny výsledky.



Obr. 33 Zobrazení výsledku navržené metodiky s jádrovým odhadem hustoty pro obrazu D7: (a) originální obraz, (b) originální obraz s odhadem směrů, (c) histogram hustoty pravděpodobnosti.

V tomto obrazu chybí z celkového rozsahu 15°, pouhým pohledem již tento rozsah nelze zachytit. Na základě navržené metodiky je možné odhadnout, jaký směr

není v obrazu zastoupený. V tomto obrazu je p – hodnota = 7,6994e-011, H_0 tedy zamítáme, čímž je prokázáno, že rozložení směrů není ve všech směrech stejné.

7.3.1 Vyhodnocení směrové orientace obrazů testové sady s různým směrovým rozložením

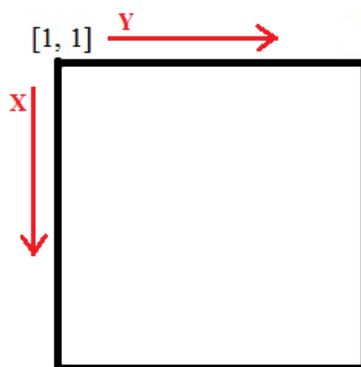
K vyhodnocení směrové orientace obrazů s různým směrovým rozložením je nutné určit standard, se kterým budou vzorky porovnávány. Tímto standardem může být, jak je uvedeno v kapitole 5.4.1 teoretická distribuce, například normálního rozdělení pro silně orientované vlákna nebo rovnoměrné rozdělení na určitém intervalu. V kapitole 7.3 byly testovány obrazy s různým směrovým rozložením. Z uvedených výsledku je vidět, že odhad pomocí navržené metodiky odpovídá parametrům generovaných obrazů.

8. Testování generovaných obrazů aproximujících pás netkané textilie

Při skutečné kontrole kvality se předpokládá kontinuální kontrola, kdy je hodnocen posouvající se pás netkané textilie. V tomto pásu netkané textilie je sledováno rozložení směrů vláken jako znak jakosti. Pomocí navržené metodiky by mělo být možné detekovat oblasti s jiným směrovým rozložením než je požadovaná orientace vláken.

Za účelem testování detekce směrové nehomogenity byl vytvořen obraz o velikosti 2000 x 40000 pixelů způsobem, který je uvedený v kapitole 4. Tímto obrazem je aproximován pás netkané textilie, ve kterém je testováno, zda je možné navrženou metodikou odhalit místa s jiným směrovým rozložením než je požadované (očekávané).

Při vytváření umělých obrazů jsou objekty generovány v kartézském souřadném systému, avšak při vyhodnocování obrazu se vychází z konceptu, uvedeném na obr. 37, který vychází ze zpracování obrazu v prostředí *Matlab*.



Obr. 34 Souřadný systém v prostředí *Matlab*.

Z důvodu přehlednosti budou uváděné hodnoty převedeny z kartézského souřadného systému do souřadného systému uvedeném na obrázku 34.

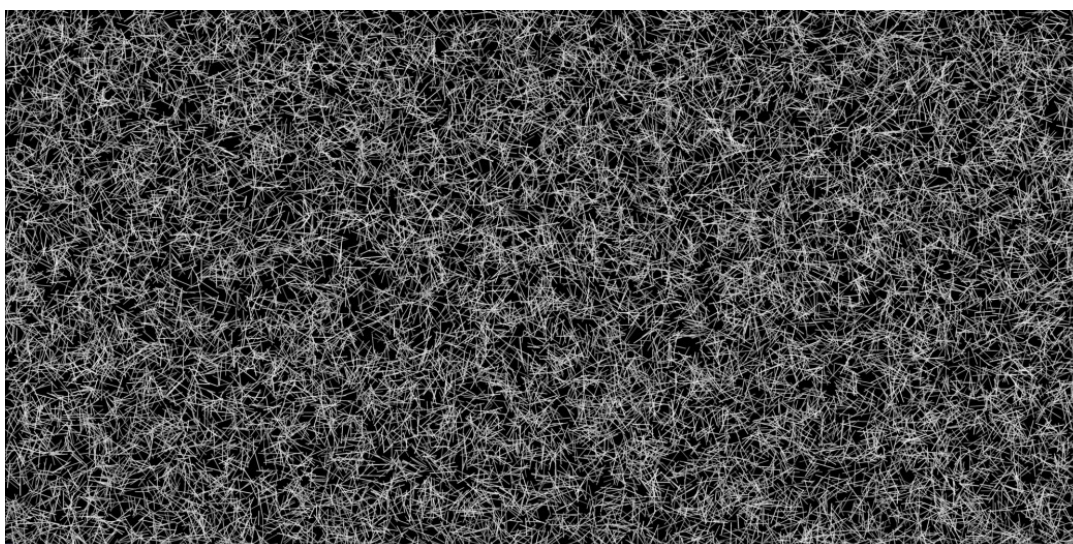
Pro účely testování byla vytvořena sada pásů F, čítající 7 obrazů. Ve všech obrazech bylo generováno rovnoměrné rozložení směrů $\langle 0|180 \rangle$, pouze v určitých oblastech byly vytvořené objekty s jinou směrovou orientací. Parametry oblastí nerovnoměrné směrové orientace obrazů sad F, kde jsou zobrazeny souřadnice oblasti

nerovnoměrného rozložení směrů objektů a jejich směrové rozložení, jsou uvedené v tabulce 4.

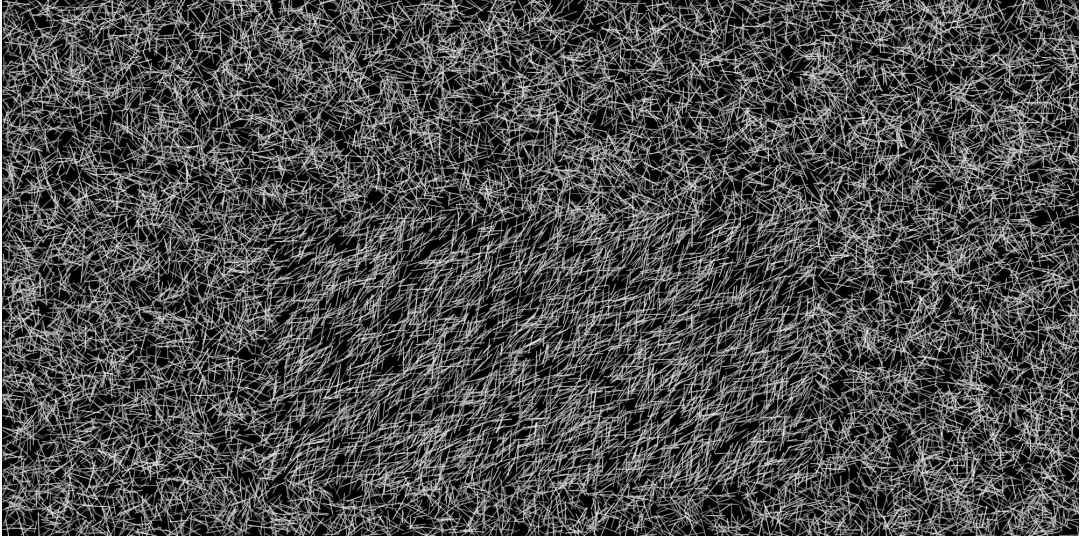
Tabulka 4: Parametry oblastí nerovnoměrné směrové orientace v obrazech F1 – F7.

Označení obrazu	Souřadnice oblastí nerovnoměrného rozdělení směrů objektů		Směrové rozložení
	x	y	
F1	-	-	$\langle 0^\circ 180^\circ \rangle$
F2	$\langle 900 1900 \rangle$	$\langle 1000 3000 \rangle$	$\langle 0^\circ 90^\circ \rangle$
F3	$\langle 900 1900 \rangle$	$\langle 1000 3000 \rangle$	$\langle 0^\circ 150^\circ \rangle$
F4	$\langle 0 1000 \rangle$	$\langle 1000 2000 \rangle$	$\langle 0^\circ 150^\circ \rangle$
F5	$\langle 2000 3000 \rangle$	$\langle 0 2000 \rangle$	$\langle 0^\circ 150^\circ \rangle$
F6	$\langle 1000 2000 \rangle$	$\langle 500 1500 \rangle$	$\langle 0^\circ 150^\circ \rangle$
F7	$\langle 500 1500 \rangle$	$\langle 500 1500 \rangle$	$\langle 0^\circ 150^\circ \rangle$

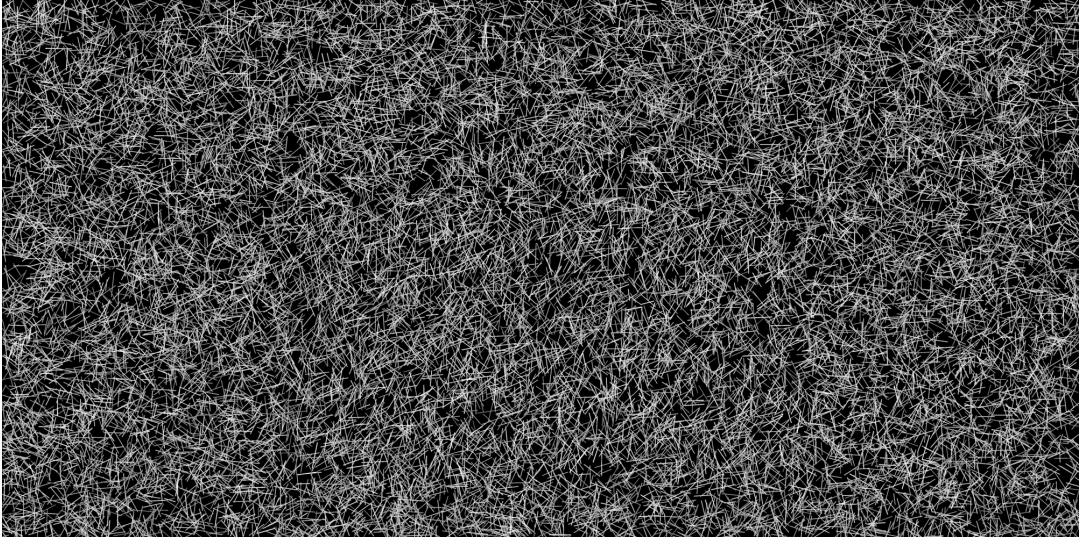
V každém obrazu bylo vygenerováno 20 000 objektů. Obrazy testové sady jsou zobrazeny na obr. 35.



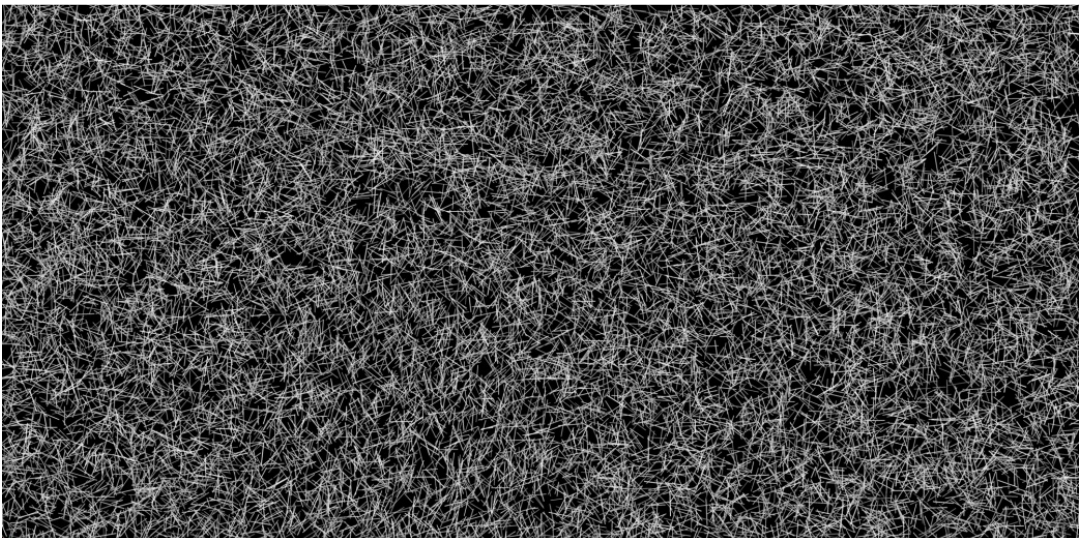
F1



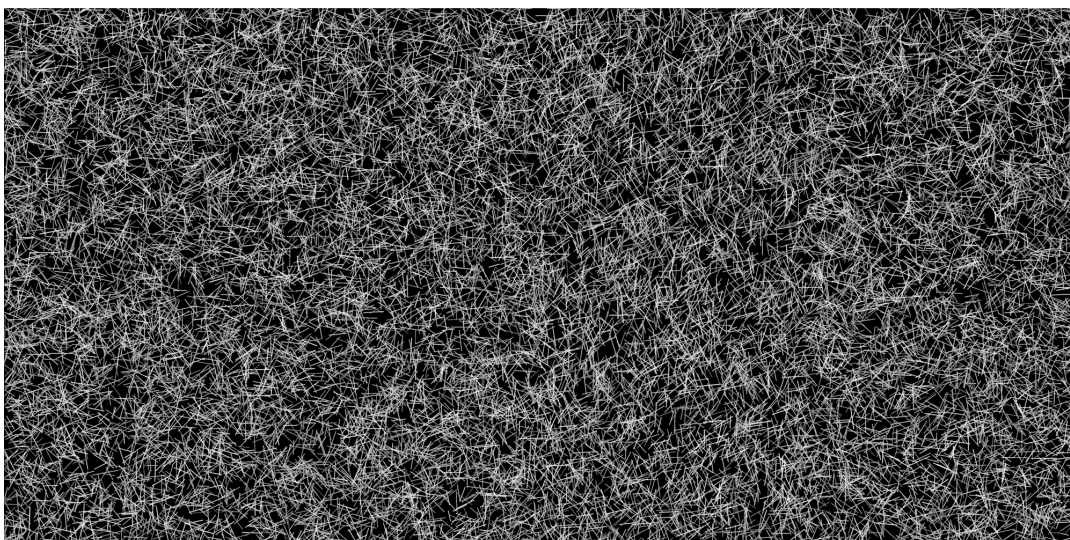
F2



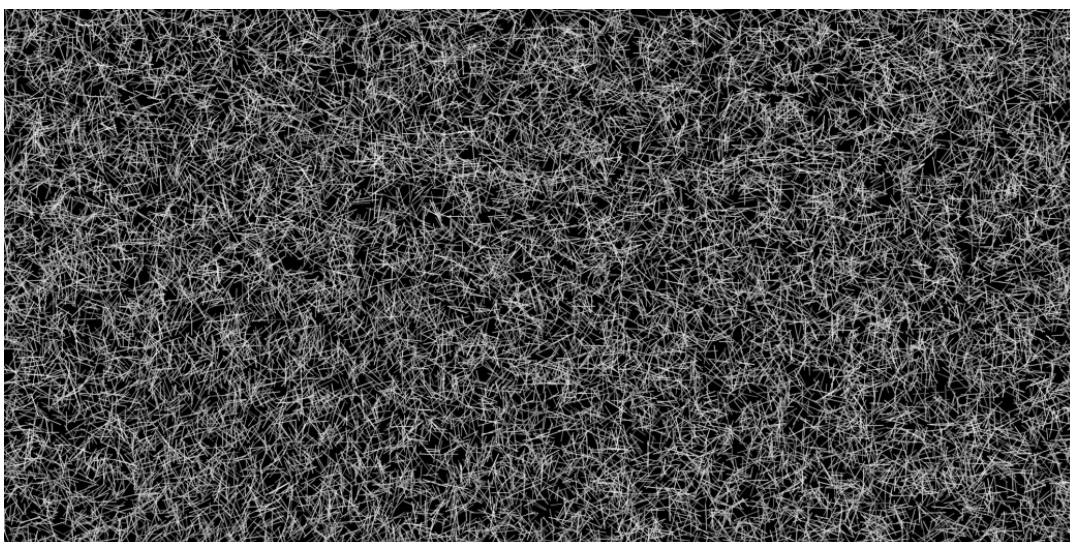
F3



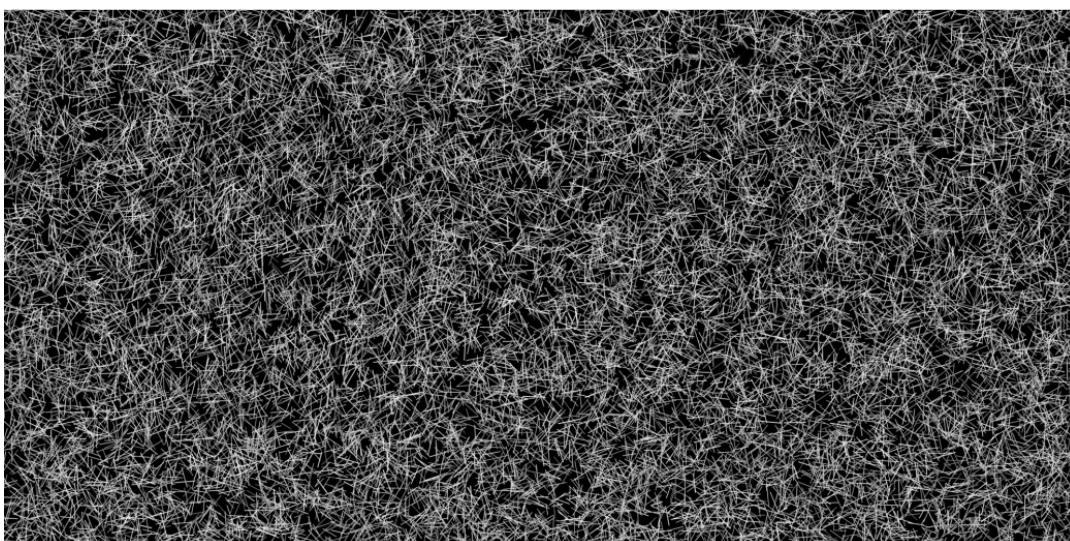
F4



F5



F6

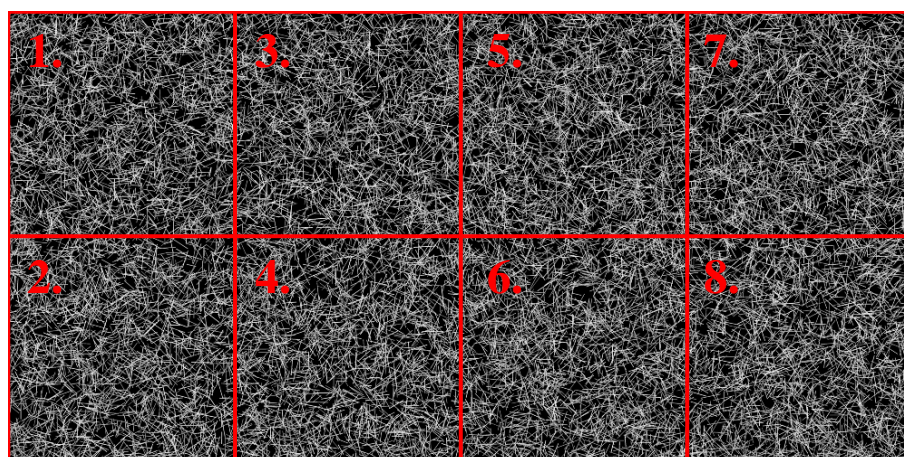


F7

Obr. 35 Zobrazení sady obrazů F1 – F7.

8.1 Metodika sledování směrové homogenity v generovaném obrazu vláken

Metodika monitorování homogenity generovaného rozložení směrů je založena na systematickém procházení celého obrazu pomocí testovacího okna o velikosti 1000 x 1000 pixelů, jak je prezentováno na obr. 36.



Obr. 36 Vstupní obraz rozdělený na 8 oken, ve kterých bude navrženou metodikou zjišťováno směrové rozložení objektů.

V každém okně je vyhodnocena směrová orientace. Získané relativní četnosti jednotlivých směrů jsou dále pomocí testu dobré shody χ^2 porovnávány s očekávanými hodnotami, které jsou dány buď teoretickou distribucí, nebo jsou vypočteny z reprezentativního vzorku. Výstupem testu dobré shody je p – hodnota, která udává nejnižší hladinu významnosti, při které lze ještě zamítnout nulovou hypotézu. Po vypočtení p – hodnoty v daném okně je její hodnota vynesena do grafu. V případě, že je p – hodnota nižší než hladina významnosti ($\alpha = 0,05$), je okno s detekovanou odlišnou směrovou orientací zvýrazněno v původním obraze červeným čtvercem o velikosti okna.

Při vyhodnocení vybrané oblasti dle metody uvedené v kapitole 6 bylo použité nastavení velikosti podokna 50 x 50 pixelů. Poměr os elipsy určující, zda je v oblasti preferovaný směr či nikoliv, byl stanoven na hodnotu 1,1.

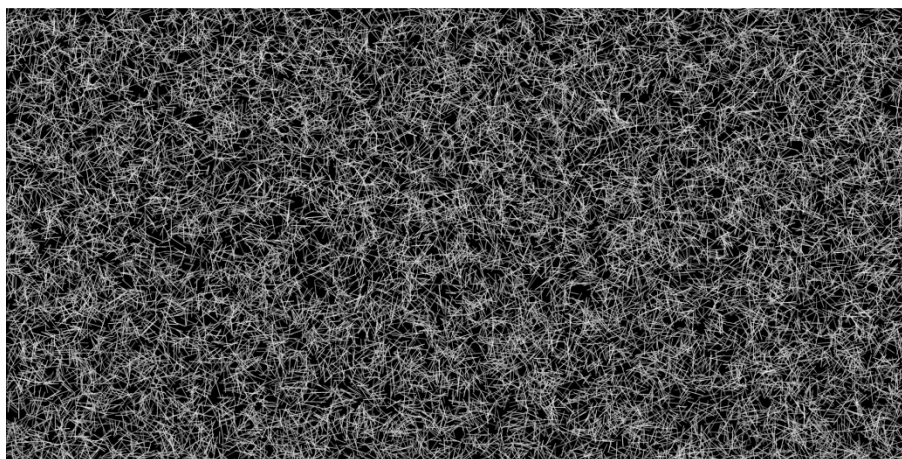
8.2 Vyhodnocení směrové orientace porovnáním s teoretickou distribucí

Účelem testování obrazů sady F bylo ověření efektivity navržené metodiky při detekci oblasti s nerovnoměrným rozložením směrů. V každém testovém okně bylo testováno, zda je směrové rozložení objektů rovnoměrné. Toto testování bylo uskutečněné pomocí testu dobré shody χ^2 , přičemž očekávaná hodnota byla získána z teoretické distribuce rovnoměrného rozdělení.

Výsledky navržené metodiky budou prezentovány ve formě obrazu vzorku s vyznačenou oblastí nehomogenity, tabulkou s výslednými p – hodnotami pro jednotlivá testová okna a grafem p – hodnot. U uvedených výsledků budou dodrženy následující koncepce. U obrazů se směrovou nerovnoměrností bude žlutou barvou znázorněna oblast s vygenerovaným nerovnoměrným rozložením směrů. Červenou barvou budou označena testová okna, u kterých bude navrženou metodikou určeno nerovnoměrné rozložení směrů. V tabulkách výsledných p – hodnot bude každému testovacímu oknu přiřazeno pořadové číslo. Pozice těchto oken bude určena souřadnicemi X a Y levého horního rohu okna. Pro každé testovací okno bude uvedena výsledná p – hodnota. V grafu p – hodnot budou na ose x vynesena pořadová čísla oken a na ose y budou vyneseny p – hodnoty. Dále tato koncepce nebude již komentována u dílčích výsledků testování.

8.2.1 Testování obrazu s generovaným rovnoměrným rozložením směrů objektů

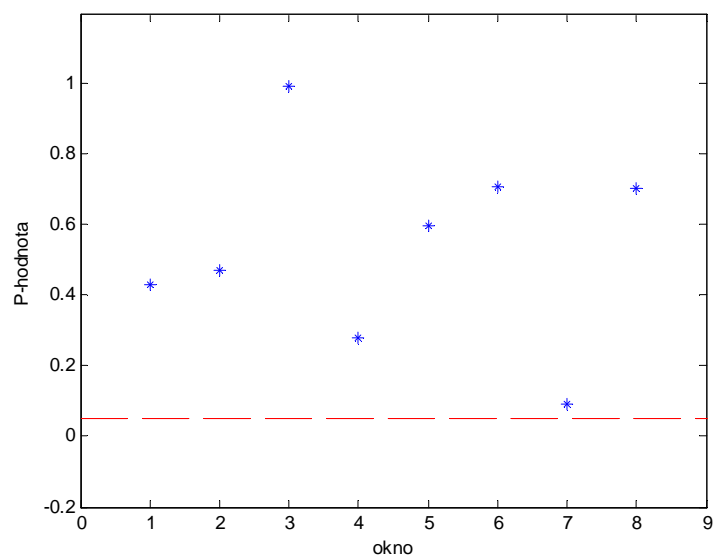
Byl testován obraz F1, u kterého je předpoklad, že objekty mají směrové rozložení ve všech směrech stejné. Výsledky budou prezentované dle zavedené koncepce. Vstupní obraz je uveden na obr. 37.



Obr. 37 Testovaný obraz F1.

Tabulka 5: Výsledky testování obrazu F1.

Okno číslo	Y	X	P - hodnota
1	1	1	0,43
2	1	1001	0,47
3	1001	1	0,99
4	1001	1001	0,28
5	2001	1	0,6
6	2001	1001	0,71
7	3001	1	0,09
8	3001	1001	0,70



Obr. 38 Graf p – hodnot pro obraz F1.

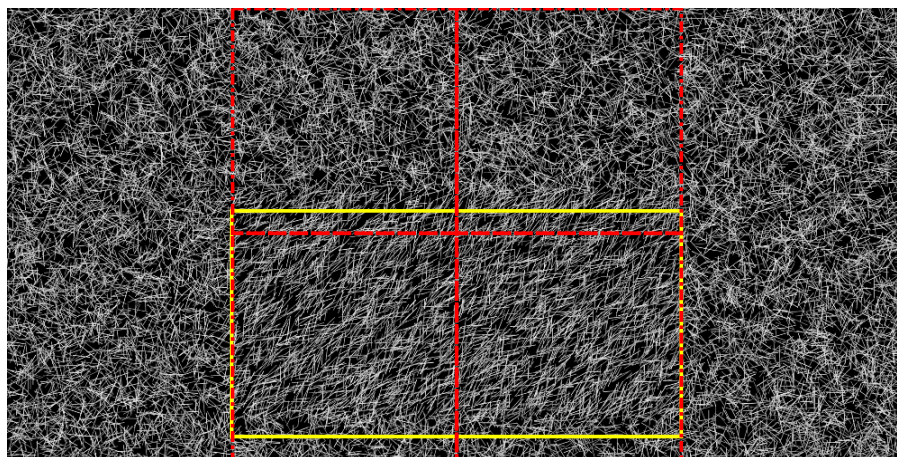
Z grafu p - hodnot je znatelné, že se všechny hodnoty nachází nad přerušovanou červenou čarou, která představuje hladinu významnosti $\alpha = 0,05$. To znamená, že všechna okna mají předpokládané rovnoměrné směrové rozložení.

8.2.2 Testování obrazu s oblastí nerovnoměrného rozložení směrů objektů

Stejným způsobem, jako je uvedený v kapitole 8.2, bylo provedeno monitorování směrové orientace objektu v obrazech sady F, ve kterých byly vygenerované, na určených místech, oblasti s nerovnoměrným rozložením směrů.

Testování obrazu F2

V tomto obrazu je oblast s nerovnoměrným rozložením směrů na intervalu $\langle 900|1900 \rangle$ na ose x a $\langle 2000|3000 \rangle$ na ose y , kterou je možné dobře rozpoznat i pouhým okem. Směry objektů ve vyznačené oblasti svírají s osou x úhel $0^\circ - 90^\circ$. Na obr. 39 je obraz F2 s vyznačenými oblastmi směrových nehomogenit, v tabulce 6 jsou uvedené výsledné p - hodnoty, které jsou znázorněny i v podobě grafu na obr. 40.

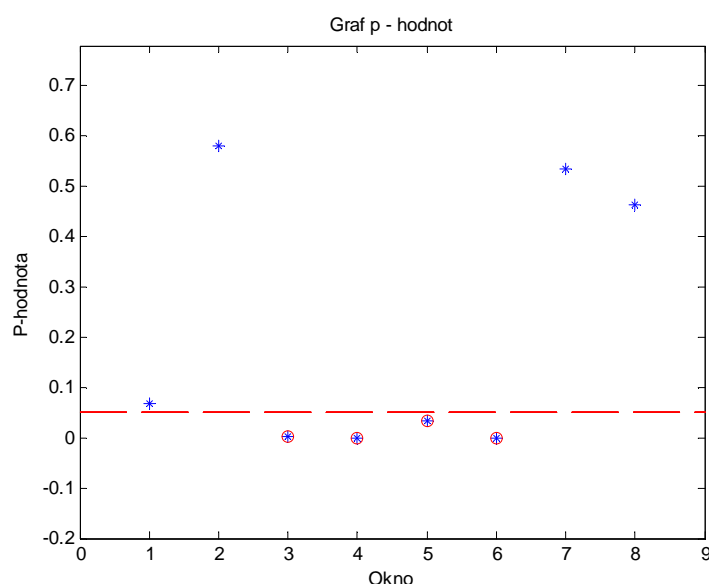


Obr. 39 Obraz F2 s žlutě vyznačenou oblastí, kde je vytvořená oblast s nerovnoměrným rozložením směrů. Červeně jsou označeny testová okna s detekovaným nerovnoměrným rozložením směrů.

Tabulka 6: Výsledky testování obrazu F2.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	0,068
2	1	1001	0,58
3	1001	1	6,41e-4
4	1001	1001	2,94e-165
5	2001	1	0,03
6	2001	1001	1,45e-123
7	3001	1	0,53
8	3001	1001	0,46

Z tabulky je zřejmé, že okno 3, 4, 5, 6 má p - hodnotu menší, než je hladina významnosti $\alpha = 0,05$. Graf výsledných p – hodnot je uveden v obr. 40.



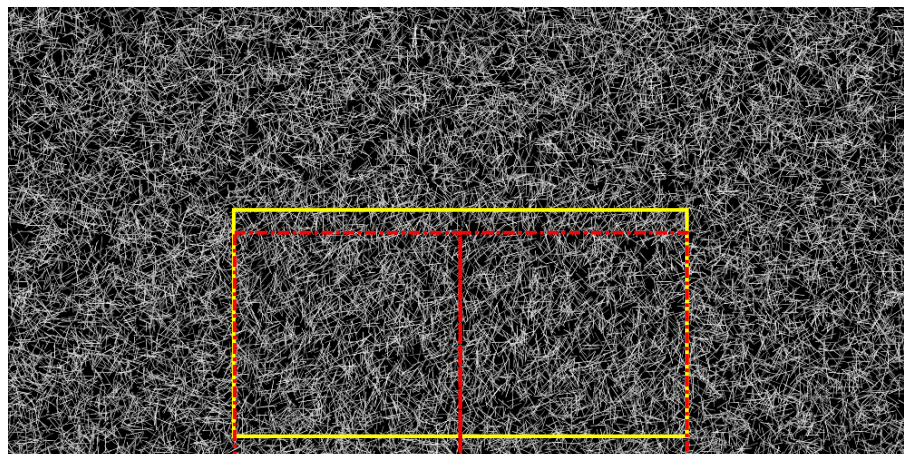
Obr. 40 Graf p – hodnot pro obraz F2.

Pomocí navržené metodiky bylo tedy ověřeno, že se v dané oblasti nachází objekty s nerovnoměrným rozložením směrů. Je vidět, že metodika je dostatečně citlivá, aby odhalila i malé oblasti směrové nestejnoměrnosti, jak je možné vidět v obr 39., kde v oknu číslo 3 a 5 je detekována směrová nestejnoměrnost i když ta se nachází pouze na 20% vybrané oblasti.

Testování obrazu F3

V tomto obrazu je oblast s nerovnoměrným rozložením směrů na stejné pozici jako u výše testovaného obrazu F2. Rozdíl je v intervalu úhlů, které objekty s osou x

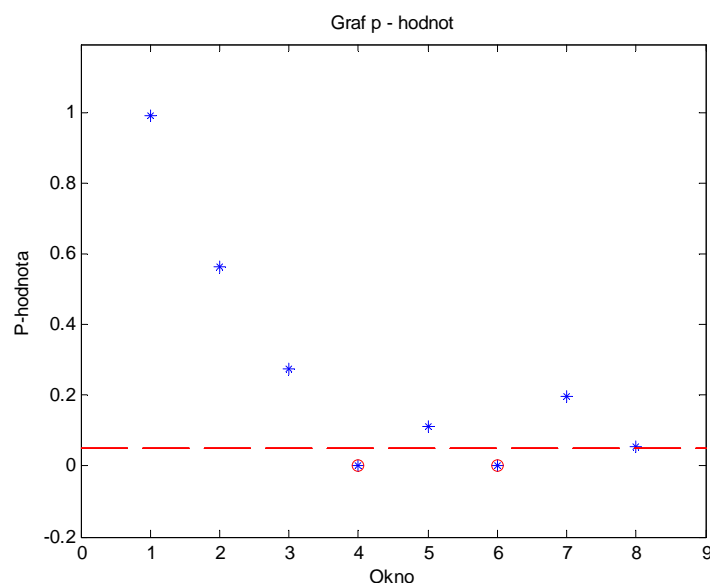
svírají, ten je u tohoto obrazu $0^\circ - 150^\circ$. Výsledky testování obrazu F3 jsou prezentované v obr. 41, kde je oblast nerovnoměrného rozdělení směrů vyznačená dle koncepce zavedené na začátku kapitoly. V tabulce 7 se nacházejí výsledné p – hodnoty. Ty jsou dále graficky znázorněny na obr. 42.



Obr. 41 Obraz F3 s žlutě vyznačenou oblastí, kde je vytvořená oblast s nerovnoměrným rozložením směrů. Červeně jsou označeny testová okna s detekovaným nerovnoměrným rozložením směrů.

Tabulka 7: Výsledky testování obrazu F3.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	0,99
2	1	1001	0,56
3	1001	1	0,27
4	1001	1001	1,03e-09
5	2001	1	0,11
6	2001	1001	1,07e-06
7	3001	1	0,2
8	3001	1001	0,06

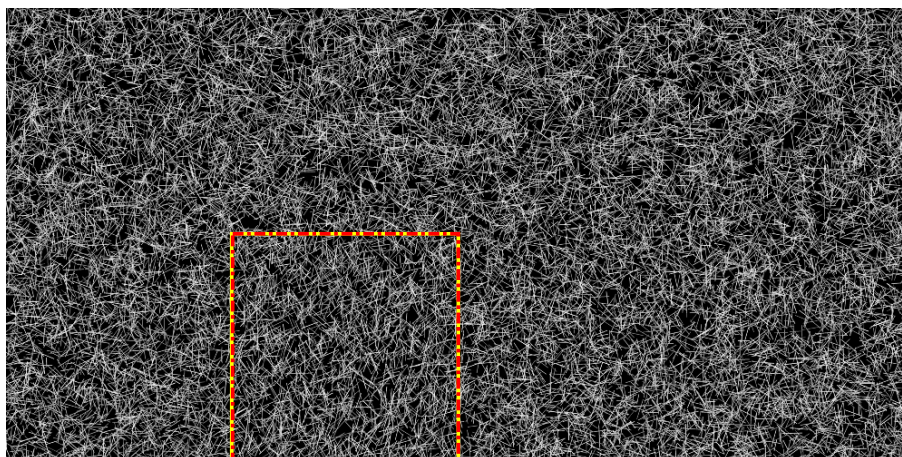


Obr. 42 Graf p – hodnot pro obraz F3.

Z obr. 41 je patrné, že oproti obrazu F2, u něhož je oblast s nerovnoměrným rozložením směrů objektů stejná, již nebylo zjištěno jiné směrové rozložení v oknech 3 a 5. To je způsobeno tím, že objekty v dané oblasti mají téměř rovnoměrné rozložení směrů a ve vyhodnocovaném okně zaujímají pouze 20% plochy. Pouhým okem již nelze rozlišit tuto oblast. Proto okna, kde toto rozložení směru zaujímá pouze malou část celkové oblasti, nejsou vyhodnoceny jako okna s nerovnoměrným rozložením směrů.

Testování obrazu F4

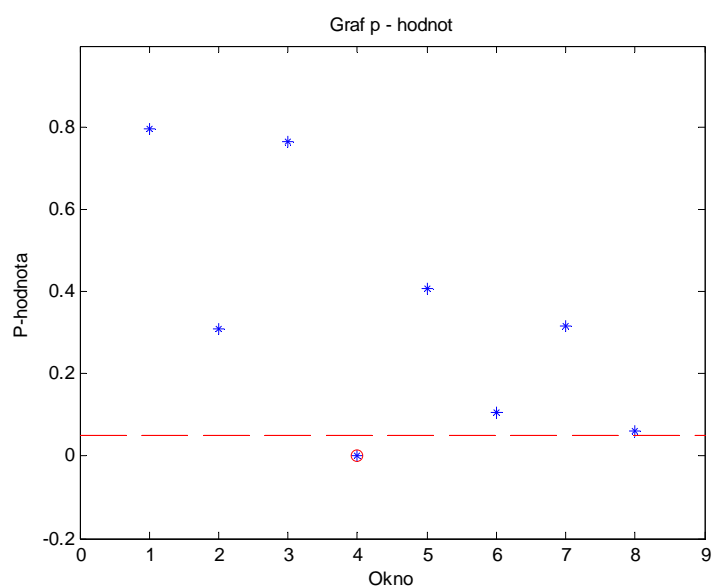
V obrazu F4 se oblast, ve které byly úhly objektů vygenerované v rozmezí $0^\circ - 150^\circ$, nachází na intervalu $\langle 1000|2000 \rangle$ na ose x a $\langle 1000|2000 \rangle$ na ose y . Dle zavedené koncepce v úvodu kapitoly budou prezentovány výsledky testování obrazu F4.



Obr. 43 Obraz F4 s žlutě vyznačenou oblastí, kde je vytvořená oblast s nerovnoměrným rozložením směrů. Červeně jsou označeny testová okna s detekovaným nerovnoměrným rozložením směrů.

Tabulka 8: Výsledky testování obrazu F4.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	0,8
2	1	1001	0,31
3	1001	1	0,76
4	1001	1001	1,58e-19
5	2001	1	0,41
6	2001	1001	0,10
7	3001	1	0,32
8	3001	1001	0,06

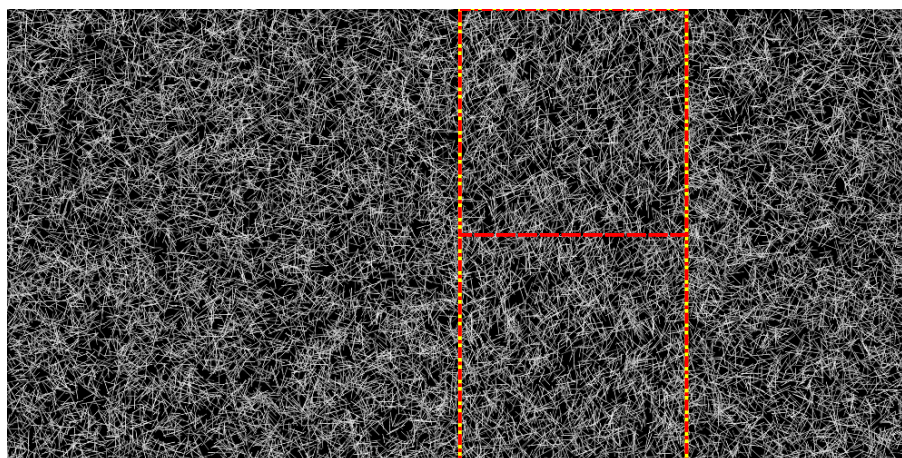


Obr. 44 Graf p – hodnot pro obraz F4.

Oblast detekované směrové nerovnoměrnosti navrženou metodikou je shodná s parametry generovaného obrazu. Pomocí navržené metodiky byla správně detekována oblast s nerovnoměrným rozložením směrů.

Testování obrazu F5

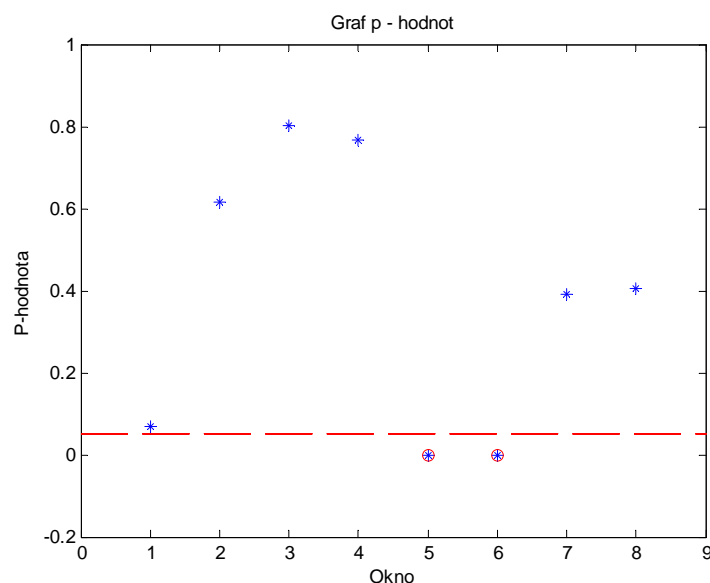
V obrazu F5 byla oblast objektů s úhly vygenerovanými v rozmezí $0^\circ - 150^\circ$ na intervalu $\langle 0|2000 \rangle$ na ose x a $\langle 2000|3000 \rangle$ na ose y . Výsledky jsou prezentovány dle uvedené koncepce v úvodu kapitoly.



Obr. 45 Obraz F5 s žlutě vyznačenou oblastí, kde je vytvořená oblast s nerovnoměrným rozložením směrů. Červeně jsou označeny testová okna s detekovaným nerovnoměrným rozložením směrů.

Tabulka 9: Výsledky testování obrazu F5.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	0,07
2	1	1001	0,62
3	1001	1	0,8
4	1001	1001	0,78
5	2001	1	9,54e-16
6	2001	1001	3,76e-14
7	3001	1	0,39
8	3001	1001	0,41

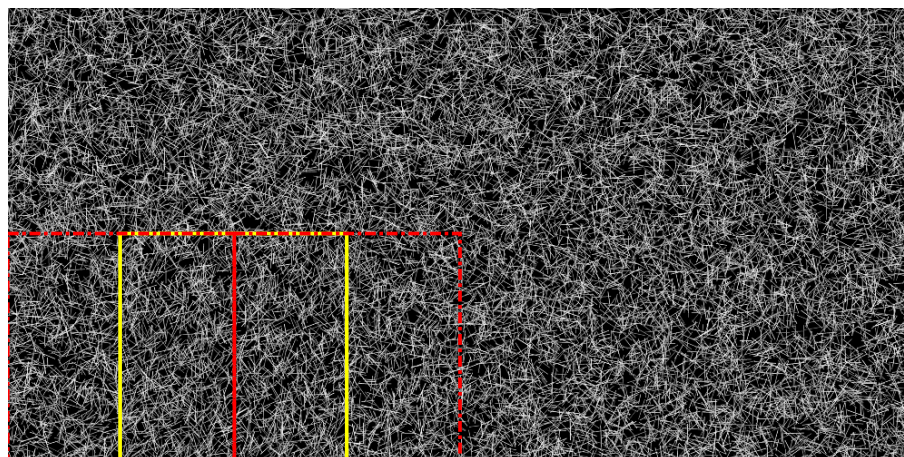


Obr.46 Graf p – hodnot pro obraz F5.

Stejně jako u předchozích 4 případů byla i obrazu F5 detekovaná oblast s nerovnoměrným rozložením směrů shodná s parametry generování oblasti směrové nerovnoměrnosti.

Testování obrazu F6

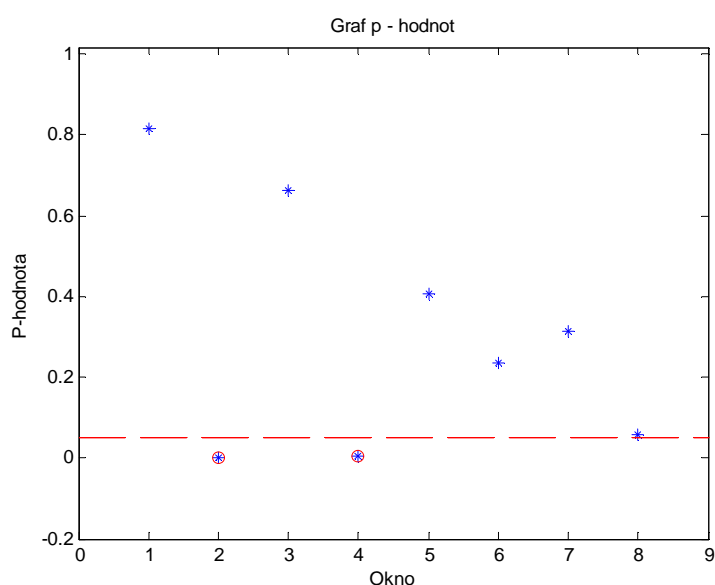
V obrazu F6 byla oblast objektů s úhly vygenerovanými v rozmezí $0^\circ - 150^\circ$ na intervalu $\langle 1000|2000 \rangle$ na ose x a $\langle 500|1500 \rangle$ na ose y . Výsledky testování navrženou metodikou obrazu F6 jsou uvedeny dle zavedené koncepce.



Obr. 47 Obraz F6 s žlutě vyznačenou oblastí, kde je vytvořená oblast s nerovnoměrným rozložením směrů. Červeně jsou označeny testová okna s detekovaným nerovnoměrným rozložením směrů.

Tabulka 10: Výsledky testování obrazu F6.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	0,82
2	1	1001	2,58e-3
3	1001	1	0,66
4	1001	1001	4,77e-3
5	2001	1	0,41
6	2001	1001	0,24
7	3001	1	0,32
8	3001	1001	0,06

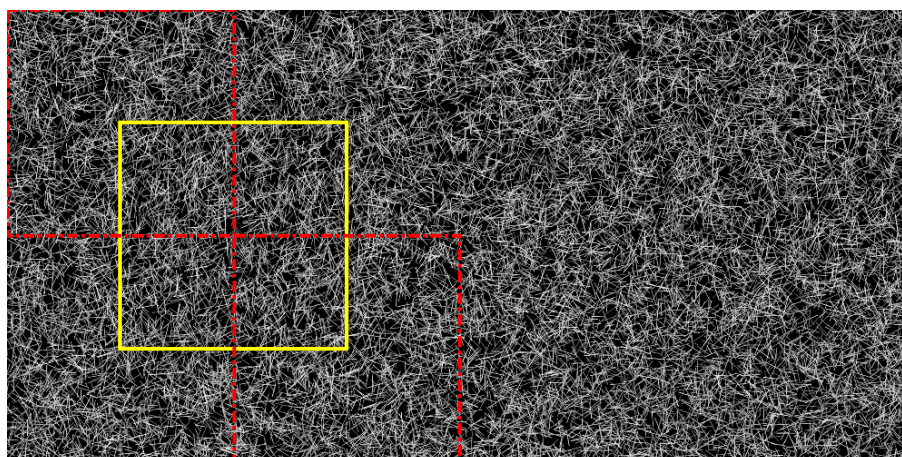


Obr. 48 Graf p – hodnot pro obraz F6.

V obrazu F6 byla vytvořená oblast s nerovnoměrným rozložením směrů tak, že při systematickém procházení obrazu testovacím oknem zaujímala 50% z hodnoceného okna. Pomocí navržené metodiky byla správně určena obě okna, do kterých oblast nehomogenity zasahovala.

Testování obrazu F7

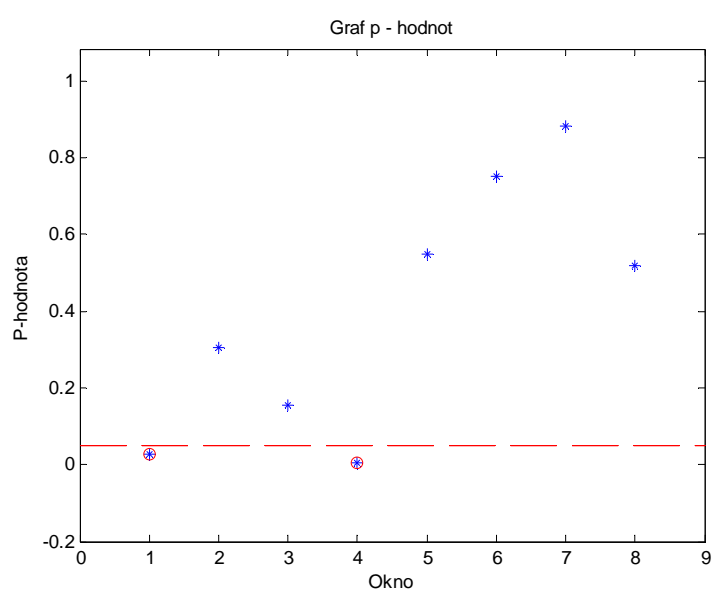
V obrazu F7 byla oblast objektů s úhly vygenerovanými v rozmezí $0^\circ - 150^\circ$ na intervalu $\langle 1000|2000 \rangle$ na ose x a $\langle 500|1500 \rangle$ na ose y . Výsledky testování obrazu F7 navrženou metodikou jsou prezentovány dle zavedené koncepce.



Obr. 49 Obraz F7 s žlutě vyznačenou oblastí, kde je vytvořená oblast s nerovnoměrným rozložením směrů. Červeně jsou označeny testová okna s detekovaným nerovnoměrným rozložením směrů.

Tabulka 11: Výsledky testování obrazu F7.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	0,03
2	1	1001	0,30
3	1001	1	0,16
4	1001	1001	3,16e-3
5	2001	1	0,55
6	2001	1001	0,75
7	3001	1	0,88
8	3001	1001	0,52



Obr. 50 Graf p – hodnot pro obraz F7.

V tomto obrazu zasahuje hledaná oblast do testovaného okna pouze 25% z celkové plochy okna. Je testováno, zda pomocí navržené metodiky je možné odhalit oblast s nerovnoměrným rozložením úhlů objektů. Z grafu p – hodnot na obr. 49 je vidět, že p – hodnota je menší než hladina významnosti $\alpha = 0,05$ u dvou testovacích oken. Bylo zjištěno, že metodika není dostatečně citlivá, aby byla schopná odhalit celou oblast s téměř rovnoměrným rozložením úhlů, která zaujímá pouze 25% z celkové plochy testovacího okna. Jedním z možných řešení tohoto problému je vzájemné překrývání oken při procházení obrazu. Při překrývání oken by bylo dosaženo takového vyhodnocovaného okna, u kterého by plocha s nerovnoměrným rozložením úhlů objektů zaujímala větší podíl z celkové hodnocené plochy, a metodikou by bylo možné ji detekovat.

8.3 Vyhodnocení směrové orientace porovnáním se standardem, vytvořeným z reprezentativního vzorku

Stejným způsobem, jaký je uvedený v kapitole 8.1, byly otestovány obrazy sady F. Místo porovnávání napočtených četností v obrazu s četností z teoretické distribuce budou nyní použité četnosti napočtené z předešlých dat, kdy byly splněny požadavky na směrovou orientaci objektů. Tato metoda se nazývá „trénování“. Při prezentování výsledku bude dodržována koncepce uvedená v kapitole 8.2.

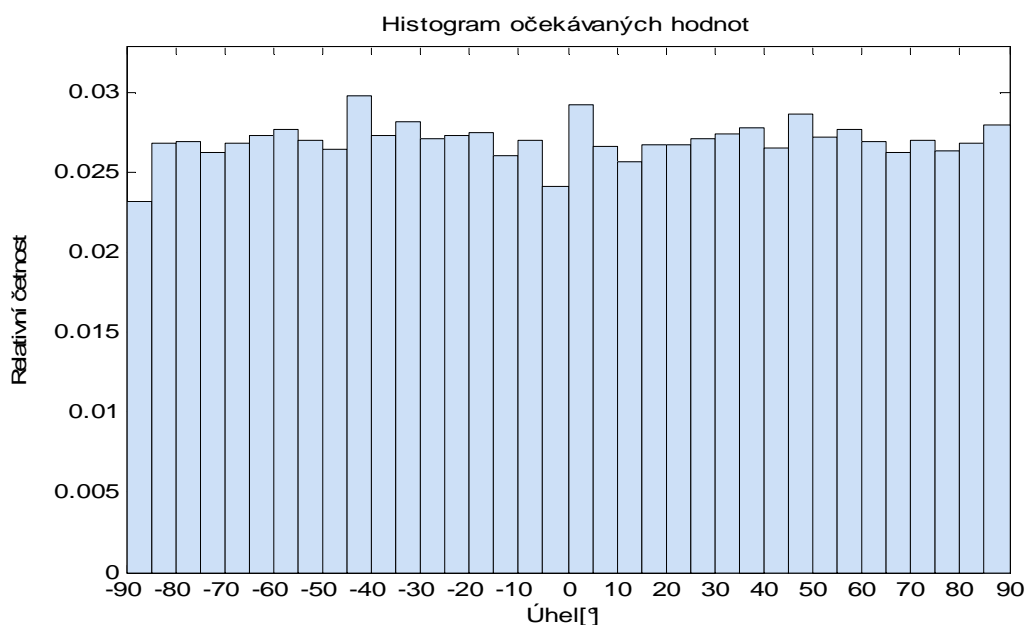
8.3.1 Vypočtení očekávaných četností z reprezentativního vzorku

Pro tento účel bylo vygenerováno 9 obrazů o velikosti 2000 x 4000 pixelů, ve kterých byly objekty generované s rovnoměrným rozložením směrů. Tyto obrazy byly analyzovány systematickým procházením oknem o velikosti 1000 x 1000 pixelů. V každém vybraném okně byly napočteny četnosti jednotlivých směrů s nastavením podokna 30 x 30 pixelů a podílu poloos s hodnotou 1,1. Poté byla vytvořena tabulka, ve které řádky představují jednotlivé třídy směrů a sloupce vybrané okno. Celkem tedy má tabulka 36 řádků a 72 sloupců (9 obrazů a 8 oken v každém obrazu => $9 \times 8 = 72$). Do této tabulky byly zaneseny údaje o absolutních četnostech směrů ze všech obrazů.

Výsledná očekávaná četnost směrů v jednotlivých třídách histogramu, která bude dále použita při testování obrazů v testu dobré shody, byla získána vypočtením průměru pro každý řádek tabulky, tedy ze všech četností směrů v dané třídě. Ze získaných absolutních četností bylo dále třeba vypočítat relativní četnosti. Ta byla vypočtena pro jednu i -tou třídu dle vztahu

$$\frac{\frac{1}{n} \sum_{i'=1}^n x_i}{N} = R, \quad (29)$$

kde n představuje počet testových oken, x_i jsou absolutní četnosti v dané třídě a N je celkový počet podoken, na které je rozděleno vybrané okno pro určení směrové orientace. Výsledné relativní četnosti jsou zobrazené v histogramu na obr. 51.

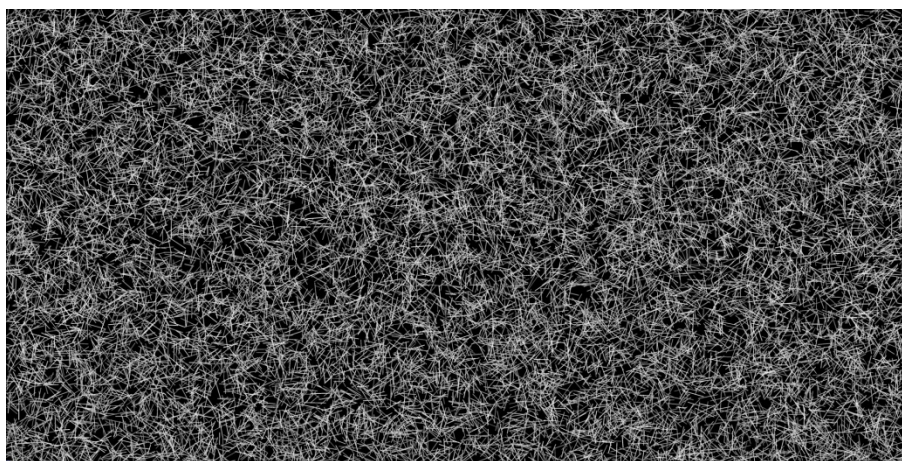


Obr. 51 Zobrazení relativních očekávaných četností směrů objektů.

Z histogramu je zřejmé, že rozložení relativních četností se blíží rovnoměrnému rozložení.

8.3.2 Testování obrazu s generovaným rovnoměrným rozložením směrů objektů

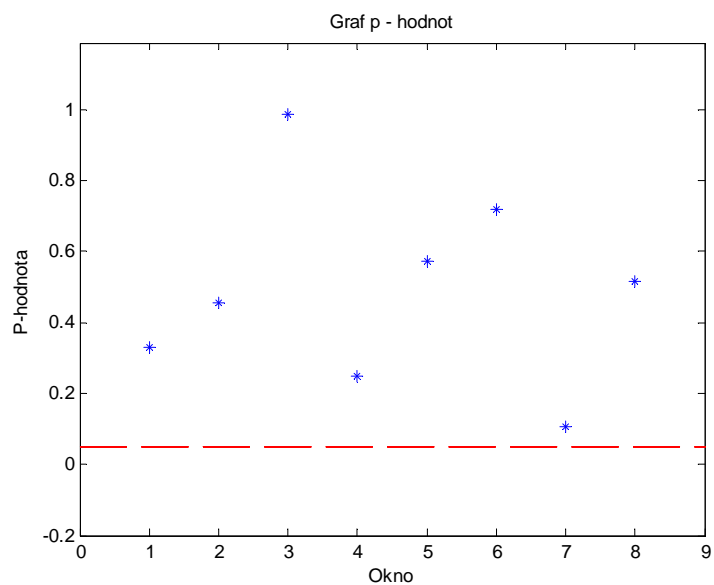
Stejně jako v kapitole 8.2.1 je testován obraz F1, který byl vygenerován s rovnoměrným rozložením směrů objektů. Výsledky budou prezentovány dle zavedené koncepce v kapitole 8.2.



Obr. 52 Zobrazení obrazu F1.

Tabulka 12: Výsledky testování obrazu F1.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	0,33
2	1	1001	0,46
3	1001	1	0,99
4	1001	1001	0,25
5	2001	1	0,57
6	2001	1001	0,72
7	3001	1	0,11
8	3001	1001	0,52



Obr. 53 Graf p – hodnot pro obraz F1.

S metodou získání očekávané četnosti z reprezentativního vzorku bylo správně zjištěno, že rozložení směrů objektů je rovnoměrné, protože žádná z p – hodnot není menší, než je hladina významnosti $\alpha = 0,05$, kterou v grafu představuje přerušovaná červená čára.

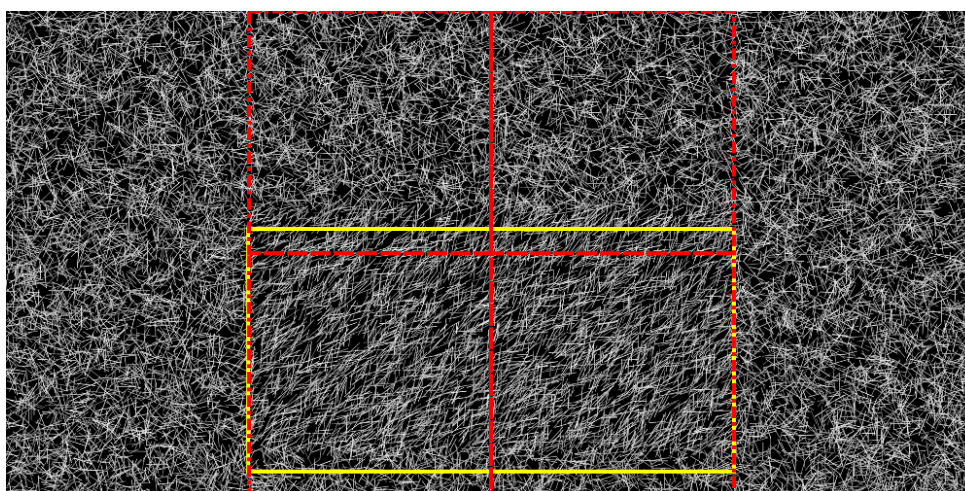
8.3.3 Testování obrazu s oblastí nerovnoměrného rozložení směrů objektů

Testováním obrazu s oblastí nerovnoměrného rozložení směrů objektů pomocí metody, kdy je očekávaná četnost ve třídách směrů získána z reprezentativního vzorku, je zjišťováno, zda je možné navrženou metodikou nalézt oblasti nerovnoměrného rozložení směrů.

Postup je stejný jako v předešlé kapitole 8.2, proto v této kapitole budou uvedeny pouze výsledky.

Testování obrazu F2

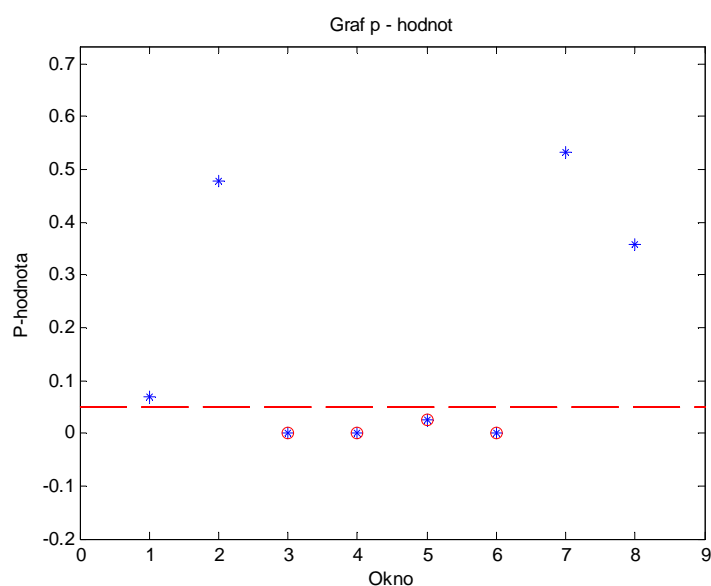
V tomto obrazu je oblast s nerovnoměrným rozložením směrů na intervalu $\langle 900|1900 \rangle$ na ose x a $\langle 2000|3000 \rangle$ na ose y , kterou je možné dobře pozorovat i pouhým okem. Směry objektů ve vyznačené oblasti svírají s osou x úhel $0^\circ - 90^\circ$.



Obr. 54 Obraz F2 s žlutě vyznačenou oblastí, kde je vytvořená oblast s nerovnoměrným rozložením směrů. Červeně jsou označeny testová okna s detekovaným nerovnoměrným rozložením směrů.

Tabulka 13: Výsledky testování obrazu F2.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	0,068
2	1	1001	0,48
3	1001	1	5,61e-4
4	1001	1001	4,52e-165
5	2001	1	0,02
6	2001	1001	1,55e-124
7	3001	1	0,53
8	3001	1001	0,36

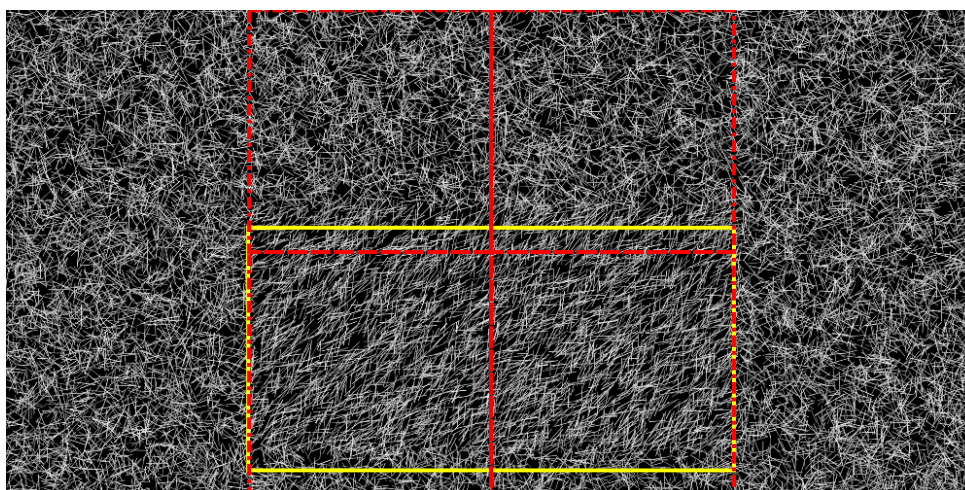


Obr. 55 Graf p – hodnot pro obraz F2.

Při použití metody získání očekávané četnosti metodou „trénování“ byly získané stejné výsledky jako při porovnávání četností s teoretickou distribucí rovnoměrného rozdělení.

Testování obrazu F3

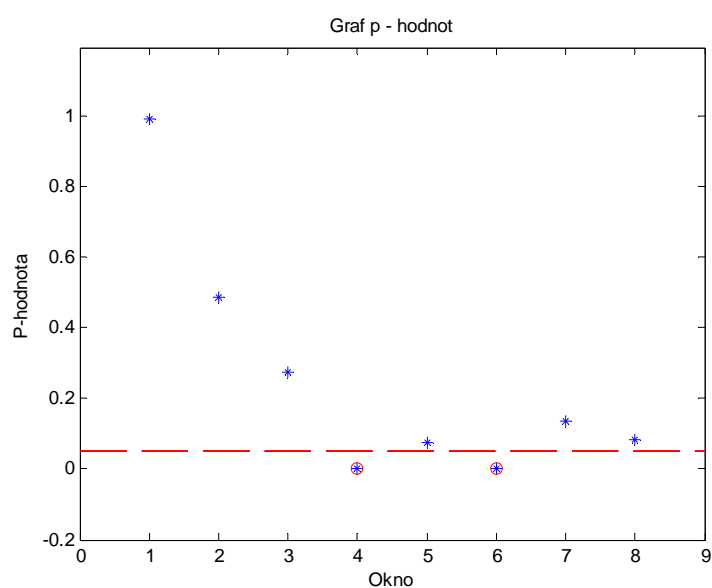
Oblast s nerovnoměrným rozložením směrů se nachází stejně jako u obrazu F2. Objekty mají v této oblasti směrové rozložení z intervalu 0° - 150° . Výsledky testování jsou prezentovány dle zavedené koncepce v kapitole 8.2.



Obr. 56 Obráz F3 s žlutě vyznačenou oblastí, kde je vytvořená oblast s nerovnoměrným rozložením směrů. Červeně jsou označeny testová okna s detekovaným nerovnoměrným rozložením směrů.

Tabulka 14: Výsledky testování obrazu F3.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	0,99
2	1	1001	0,49
3	1001	1	0,27
4	1001	1001	5,48e-11
5	2001	1	0,08
6	2001	1001	1,56e-07
7	3001	1	0,14
8	3001	1001	0,08

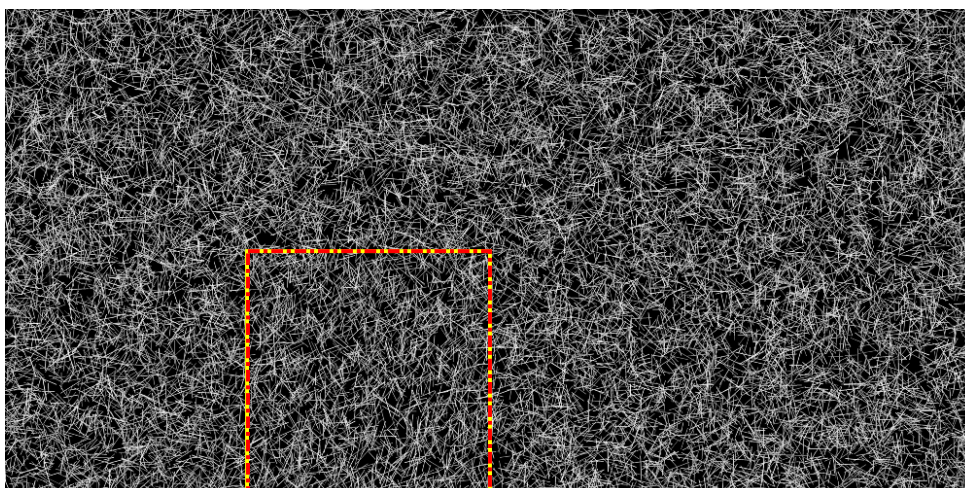


Obr. 57 Graf p – hodnot pro obraz F3.

Po dosazení očekávaných hodnot napočtených z reprezentativního vzorku do testu dobré shody byly získány stejné výsledky, jako u metody s dosazením očekávané hodnoty z teoretické distribuce. Opět nebyly označené okna 3 a 5. Důvodem je to, že pouze 20% z testované plochy s téměř rovnoměrným rozdělením směrů zasahuje do oken 3 a 5.

Testování obrazu F4

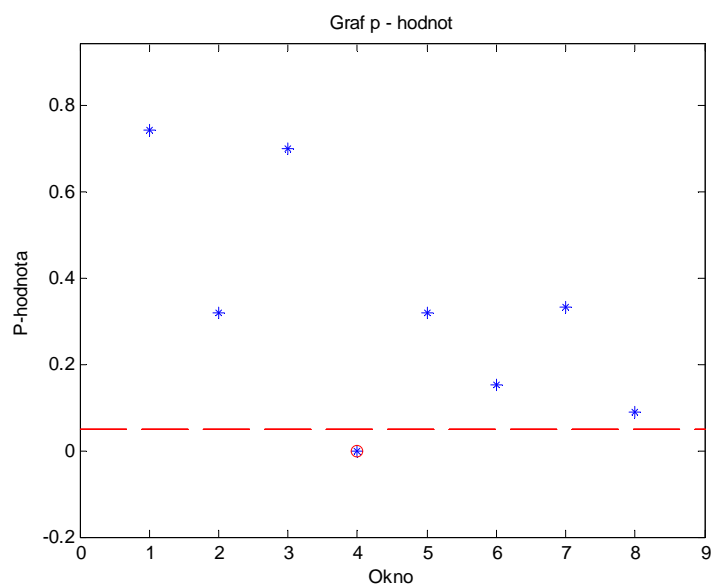
V obrazu F4 se oblast, ve které byly úhly objektů vygenerované v rozmezí $0^\circ - 150^\circ$, nachází na intervalu $\langle 1000|2000 \rangle$ na ose x a $\langle 1000|2000 \rangle$ na ose y . Dle zavedené koncepce v úvodu kapitoly 8.2 budou prezentovány výsledky testování obrazu F4.



Obr. 58 Obraz F4 s žlutě vyznačenou oblastí, kde je vytvořená oblast s nerovnoměrným rozložením směrů. Červeně jsou označeny testová okna s detekovaným nerovnoměrným rozložením směrů.

Tabulka 15: Výsledky testování obrazu F4.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	0,74
2	1	1001	0,32
3	1001	1	0,7
4	1001	1001	1,78e-20
5	2001	1	0,32
6	2001	1001	0,15
7	3001	1	0,33
8	3001	1001	0,09

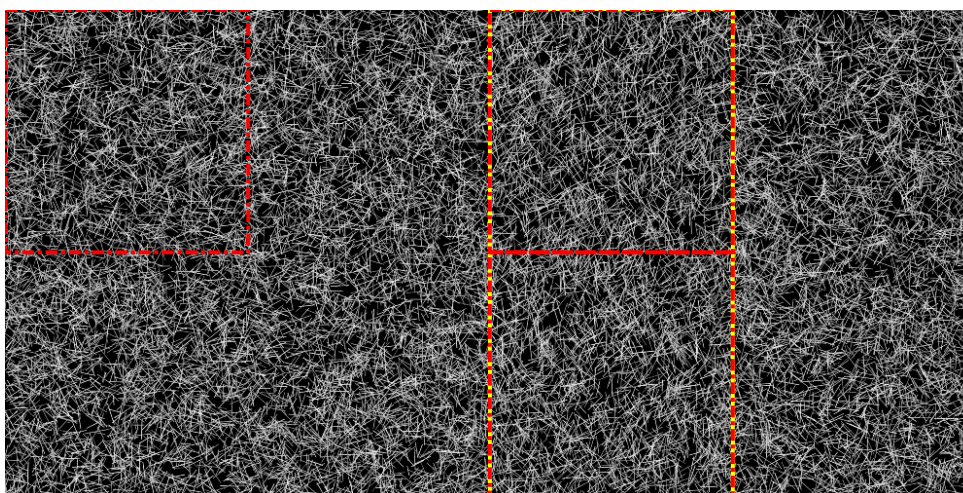


Obr. 59 Graf p – hodnot pro obraz F3.

V obrazu F4 byla správně detekovaná oblast s nerovnoměrným rozložením směrů objektů.

Testování obrazu F5

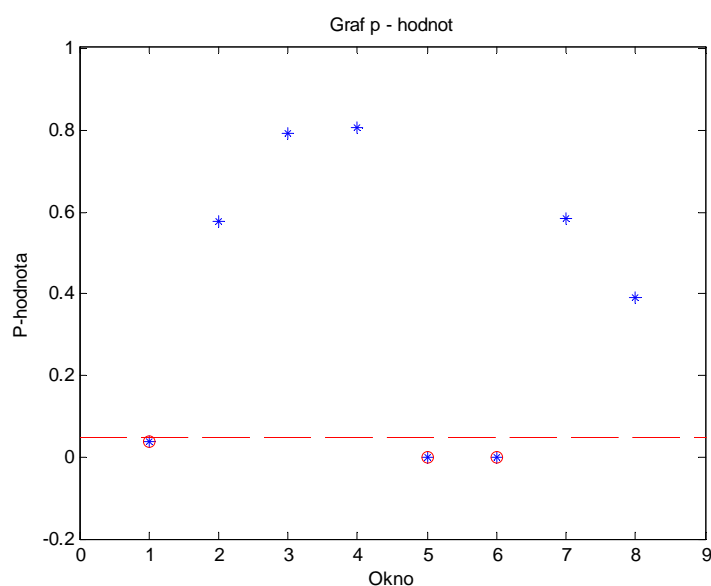
V obrazu F5 byla oblast objektů s úhly vygenerovanými v rozmezí $0^\circ - 150^\circ$ na intervalu $\langle 0|2000 \rangle$ na ose x a $\langle 2000|3000 \rangle$ na ose y . Výsledky jsou prezentovány dle uvedené koncepce v úvodu kapitoly 8.2.



Obr. 60 Obraz F5 s žlutě vyznačenou oblastí, kde je vytvořená oblast s nerovnoměrným rozložením směrů. Červeně jsou označeny testová okna s detekovaným nerovnoměrným rozložením směrů.

Tabulka 16: Výsledky testování obrazu F5.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	0,04
2	1	1001	0,58
3	1001	1	0,79
4	1001	1001	0,81
5	2001	1	1,95e-16
6	2001	1001	1,99e-15
7	3001	1	0,58
8	3001	1001	0,39

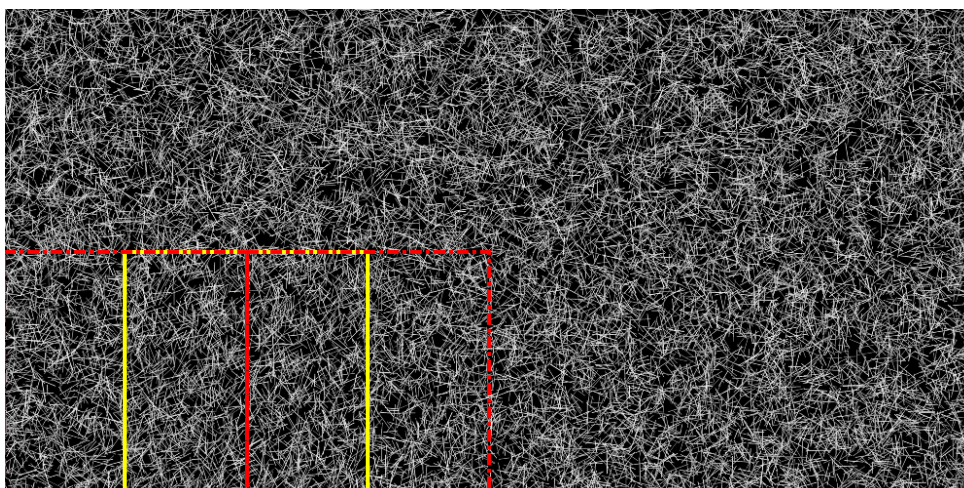


Obr. 61 Graf p – hodnot pro obraz F5.

V tomto obrazu bylo špatně detekováno okno číslo 1, ve kterém se nachází objekty s rovnoměrným rozložením směrů. Toto špatné vyhodnocení je způsobeno nerovnoměrností očekávaných hodnot, které byly získány z reprezentativního vzorku a pouze se k teoretické distribuci rovnoměrného rozložení blíží. V případě více obrazů reprezentativního vzorku, ze kterých by byla napočítána očekávaná četnost, by měl být tento nedostatek eliminován.

Testování obrazu F6

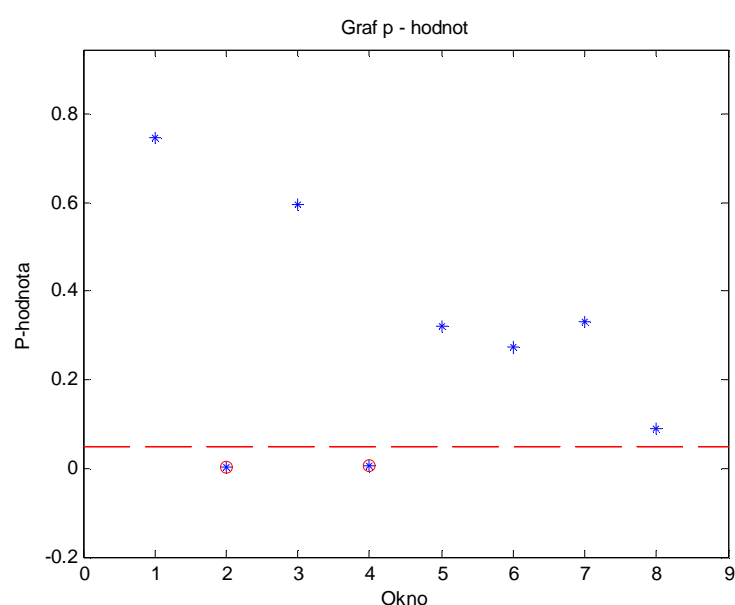
V obrazu F6 byla oblast objektů s úhly vygenerovanými v rozmezí $0^\circ - 150^\circ$ na intervalu $\langle 1000|2000 \rangle$ na ose x a $\langle 500|1500 \rangle$ na ose y . Výsledky testování navrženou metodikou obrazu F6 jsou uvedeny dle zavedené koncepce v kapitole 8.2.



Obr. 62 Obraz F6 s žlutě vyznačenou oblastí, kde je vytvořená oblast s nerovnoměrným rozložením směrů. Červeně jsou označeny testová okna s detekovaným nerovnoměrným rozložením směrů.

Tabulka 17: Výsledky testování obrazu F6.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	0,75
2	1	1001	2,67e-3
3	1001	1	0,6
4	1001	1001	4,58e-3
5	2001	1	0,32
6	2001	1001	0,27
7	3001	1	0,33
8	3001	1001	0,09

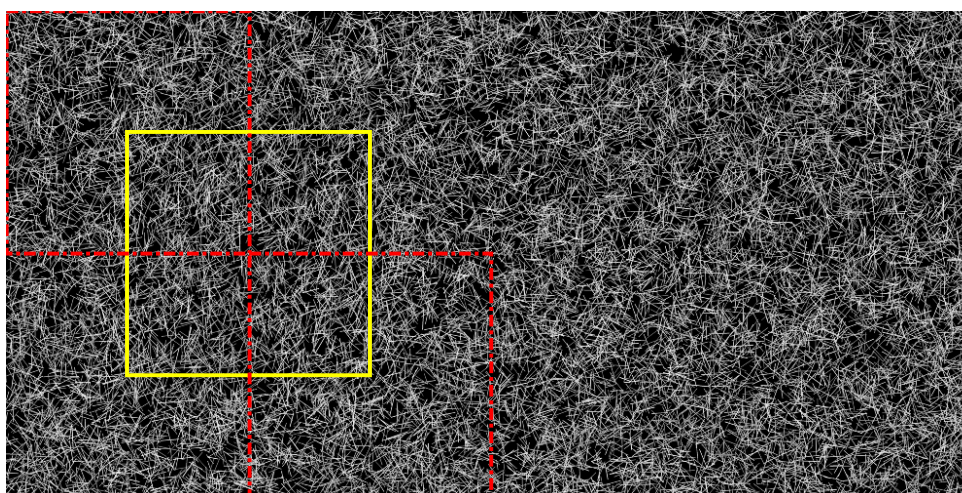


Obr. 63 Graf p – hodnot obrazu F6.

Pomocí navržené metodiky byla správně určena oblast s nerovnoměrným rozložením směrů objektů, která zaujímá pouze 50% z celkové plochy hodnoceného okna a objekty mají téměř rovnoměrné rozložení směrů.

Testování obrazu F7

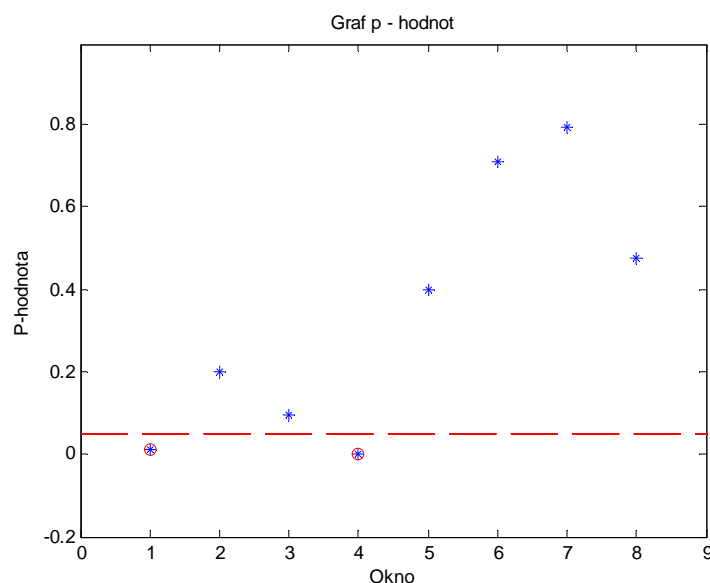
Oblast s nerovnoměrným rozložením směrů se v tomto obrazu nachází na intervalu $\langle 1000|2000 \rangle$ na ose x a $\langle 500|1500 \rangle$ na ose y . Objekty v této oblasti byly vygenerované s rovnoměrným rozložením směrů na intervalu $0^\circ - 150^\circ$. Výsledky testování obrazu F7 navrženou metodikou jsou prezentovány dle zavedené koncepce v kapitole 8.2.



Obr. 64 Obraz F7 s žlutě vyznačenou oblastí, kde je vytvořená oblast s nerovnoměrným rozložením směrů. Červeně jsou označeny testová okna s detekovaným nerovnoměrným rozložením směrů

Tabulka 18: Výsledky testování obrazu F7.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	0,01
2	1	1001	0,20
3	1001	1	0,1
4	1001	1001	1,44e-3
5	2001	1	0,4
6	2001	1001	0,71
7	3001	1	0,79
8	3001	1001	0,47



Obr. 65 Graf p – hodnot pro obraz F7.

Metodou porovnávání získaných četností s napočtenými četnostmi z reprezentativního vzorku byly získány stejné výsledky jako u porovnávání s teoretickou distribucí. Metoda již nedokáže přesně odhalit nerovnoměrné rozložení směrů objektu v oblasti, pokud zasahuje pouze malou část z testované plochy. Jak bylo uvedeno v kapitole 7.1.2, jedním z možných řešení problému je procházení obrazu oknem s překrýváním například 50% plochy.

8.4 Zhodnocení efektivity navržené metodiky

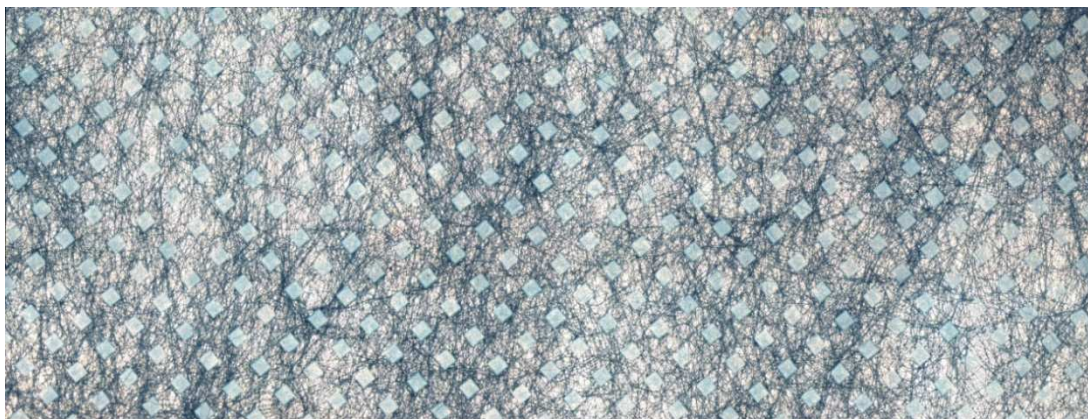
Hodnocení směrové orientace bylo uskutečněno pomocí testu dobré shody χ^2 . Jako očekávané hodnoty četností směrů byly v prvním případě použité hodnoty získané z teoretické distribuce. V případě, že není známé požadované směrové rozložení objektů, je očekávaná hodnota stanovena na základě minulých zkušeností s procesem. Při této variantě se z reprezentativního vzorku, vyhovujícímu požadavkům směrové orientace, „natrénují“ četnosti v jednotlivých třídách a ty jsou poté použité v χ^2 testu jako očekávané hodnoty. Výsledky obou způsobů byly téměř totožné, malé odchylky byly způsobeny nedostatečným počtem reprezentativních vzorků, ze kterých byla očekávaná četnost vypočtena. Při praktickém využití metodiky bude vhodnější použití způsobu získání očekávané četnosti směrů z reprezentativního vzorku. Tímto způsobem je možné následně vyhodnocovat jakoukoliv požadovanou směrovou orientaci.

Navržená metodika odhadu směrové orientace byla testována na generovaných obrazech, ve kterých bylo známé rozložení směrů objektů, jež aproximovaly vlákna. V uměle vytvořených obrazech byly objekty generovány s rovnoměrným rozložením směrů na intervalu $0^\circ - 180^\circ$, kromě určitých oblastí, kde bylo generováno jiné rozložení směrů, nejčastěji šlo o rovnoměrné rozložení směrů pouze na intervalu $0^\circ - 150^\circ$, tento nepatrný rozdíl již nebylo možné okem rozlišit. Výsledky získané navrženou metodikou z generovaných obrazů poskytovali velice přesný odhad směrového rozložení objektů v obraze. Ve všech obrazech se podařilo odhalit oblast s jinou směrovou orientací objektů, než byla očekávaná orientace. Pouze v případě, že hledaná oblast zaujímala menší část testované plochy než 25%, bylo odhalení této oblasti problematické. V případě, kdy hledaná oblast směrové nehomogenity, kde objekty svíraly s osou x pouze úhel $0^\circ - 90^\circ$, byla pomocí metodiky správně určena tato oblast i přes skutečnost, že tato oblast zaujímala pouze 20% z celkové testované plochy.

Z výsledků je patrné, že parametry ovlivňující možnou detekci směrových nehomogenit jsou velikost plochy oblasti s jiným směrovým rozložením v testovacím okně a míra odlišnosti směrového rozložení od očekávaných hodnot. Při velké míře odlišnosti od očekávaných hodnot stačí i malá oblast zaujímající pouze 20% z celkové plochy testovacího okna a tato oblast bude pomocí metodiky správně určena. Pokud je míra odlišnosti nízká, je třeba většího podílu plochy z testovaného okna ke správnému určení oblasti.

9. Testování reálných vzorků netkané textilie

V této práci byla navržena metodika aplikovaná též na obrazy skutečné netkané textilie, označené NT1 a NT2, které jsou zobrazeny na obr. 67 (a), (b).



(a)



(b)

Obr. 67 Obraz skutečné netkané textilie (a) NT1 (b) NT2.

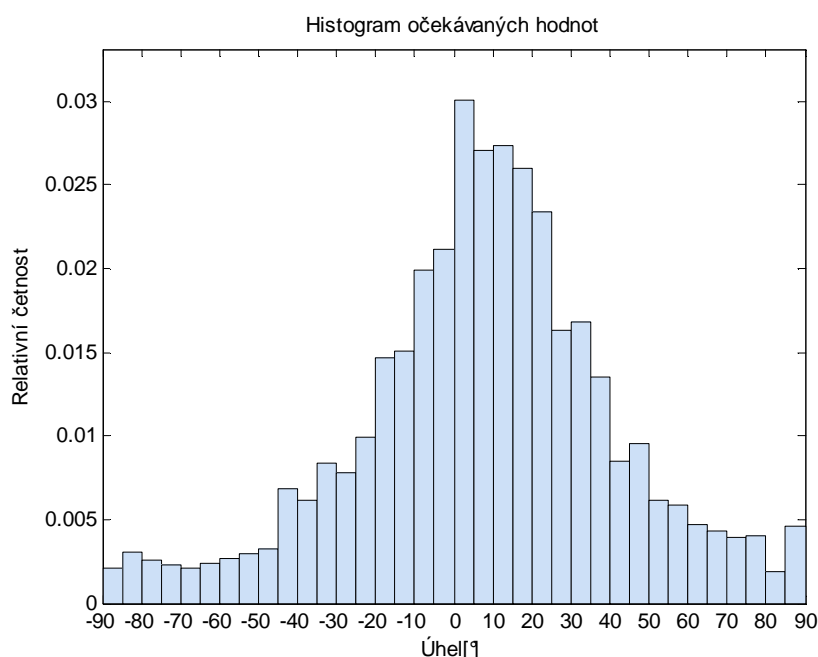
Netkaná textilie NT1 je vyrobena z polypropylénu a polyetylénu v poměru 70/30. Vlákenná vrstva byla vyrobena technologií spun – bond a pojena je pomocí kalandru. Plošná hmotnost textilie je 20g/m^2 . Vzorek byl při snímání osvětlen procházejícím světlem a byl nasnímán pomocí kamery přímo shora. Nasnímaný vzorek textilie má velikost $512,4 \times 195,2$ mm, digitální obraz má velikost 5472×2085 pixelů.

Druhá netkaná textilie NT2 byla vyrobena z polypropylénu. Při výrobě vlákenné vrstvy byla použita technologie spun – bond a pojena je kalandrem. Plošná hmotnost vzorku 18g/m^2 . Při snímání obrazu vzorku bylo použito osvětlení procházejícího světla. Obraz byl také nasnímaný kamerou umístěnou nad vzorkem. Nasnímaný vzorek textilie má velikost $508,5 \times 193,3$ mm, digitální obraz má pak velikost 5466×2078 pixelů.

U vzorku netkané textilie bohužel není možné porovnávat směrovou orientaci s teoretickou distribucí, protože není známá požadovaná směrová orientace vláken. K vyhodnocení bude tedy použita metoda „třénování“ pro získání očekávaných hodnot testu χ^2 . Očekávané hodnoty budou získané jako průměrná relativní četnost v jednotlivých třídách směrů, jak je prezentováno v kapitole 8.3.1. Kvůli zachování koncepce z generovaných obrazů, kde objekty představující vlákna mají bílou barvu a pozadí je černé, je obraz netkané textilie převeden na negativ.

9.1 Vyhodnocení směrové orientace vzorku netkané textilie NT1

Při zpracování obrazu tohoto vzorku je obraz otočen o 90° , z důvodu lepší prezentace směrového rozložení v histogramu. Histogram průměrných četností směrů vzorku NT1, které budou dále použité jako očekávané četnosti v testu dobré shody, je zobrazen na obr. 68.



Obr. 68 Histogram průměrných četností ve vzorku netkané textilie NT1.

Z histogramu průměrných četností ve vzorku netkané textilie je vidět, že ve vzorcích je preferovaný podélný směr textilie. Tyto četnosti budou dále použité jako očekávané četnosti do testu dobré shody. Výsledky testování metodikou jsou uvedené v tabulce 19.

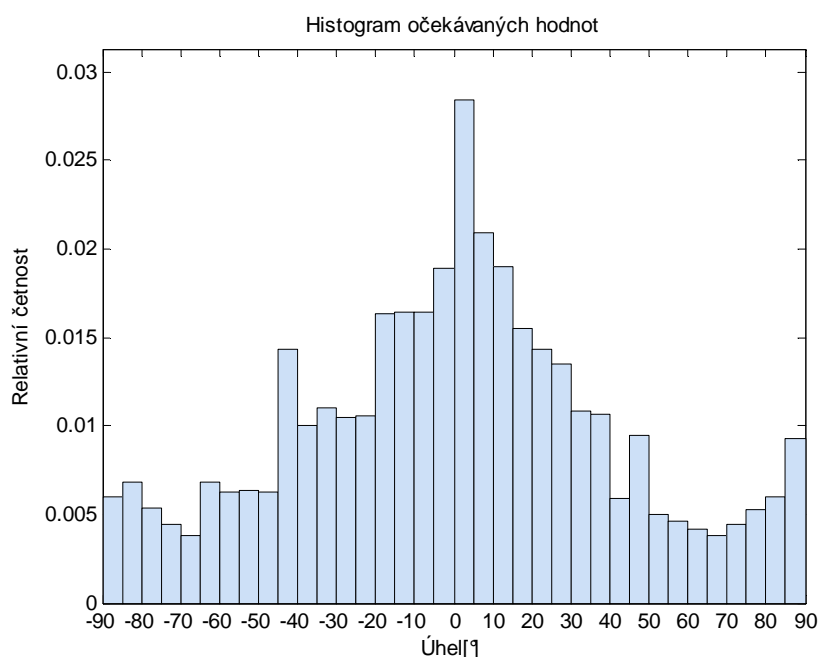
Tabulka 19: Výsledky testování vzorku NT1.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	2,48e-87
2	1	1001	2,23e-101
3	1	2001	2,45e-86
4	1	3001	8,25e-83
5	1	4001	9,29e-90
6	1001	1	1,19e-76
7	1001	1001	1,81e-94
8	1001	2001	4,10e-79
9	1001	3001	1,44e-73
10	1001	4001	7,11e-80

Z tabulky 16 je znatelné, že všechny p – hodnoty jsou menší, než je hladina významnosti. To znamená, že v žádném okně není shoda mezi skutečnou a očekávanou četností směrů vláken.

9.2 Vyhodnocení směrové orientace vzorku netkané textilie NT2

Pro výpočet očekávaných hodnot byla též použita metoda „trénování“. Očekávané hodnoty byly napočtené z nasnímaných vzorků NT2. Získaný histogram průměrných četností v obraze vzorku NT2 je uveden na obr. 69.



Obr. 69 Histogram průměrných četností ve vzorku netkané textilie NT2.

Z histogramu průměrných četností směrů je opět jasné vidět, že vlákna ve vzorku preferují podélný směr textilie. Výsledky testování jsou uvedené v tabulce 17.

Tabulka 17: Výsledky testování vzorku NT2.

Okno číslo	Y	X	P -hodnota
1	1	1	4,72e-65
2	1	1001	1,61e-44
3	1	2001	2,80e-86
4	1	3001	3,46e-76
5	1	4001	4,90e-73
6	1001	1	1,76e-88
7	1001	1001	1,26e-81
8	1001	2001	1,08e-74
9	1001	3001	3,44e-74
10	1001	4001	1,75e-56

Z tabulky je patrné, že stejně jako u vzorku NT1, tak i zde nikde nebyla potvrzena shoda směrového rozložení s očekávanou četností.

9.3 Zhodnocení výsledku testování navržené metodiky na obrazech netkané textilie

V této práci byly také vyhodnoceny obrazy skutečných netkaných textilií. Tyto obrazy bohužel nebylo možné porovnat s žádnou očekávanou teoretickou distribucí, proto byly očekávané četnosti napočtené z nasnímaných vzorků. Výsledky ukazují, že pomocí navržené metodiky je možné odhadnout směrové rozložení vláken v obrazu vzorku. Při porovnávání očekávaných hodnot s výslednými četnostmi směrů nebyla v žádném okně prokázána shoda. Hlavní problém při posuzování shody může být nastavení velikosti testového okna, protože v jednotlivých testových oknech byla zaznamenána velká variabilita četností v jednotlivých třídách směrů. Při zvětšení testového okna by variabilita v jednotlivých třídách byla nižší. Z tohoto důvodu by byla efektivita testování shody vyšší. Tento problém by měl být předmětem dalšího výzkumu.

10. Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout metodiku pro hodnocení směrového uspořádání vláken v ploše vlákenného systému.

Navržený algoritmus byl založen na metodě určení směrové orientace uvedené v článku [12], která k určení směrové orientace využívá 2D Fourierovu transformaci. Princip metody spočívá v rozdělení vstupního obrazu na n testovacích oken, kde byla samostatně vyhodnocena shoda distribuce směrů vláken s očekávanou orientací. Testovací okno bylo dále rozděleno na m malých oken, ve kterých byla pomocí Fourierovy transformace vypočtená směrová orientace. Výsledné četnosti směrů byly roztrženy do tříd v rozsahu -90° až 90° , kde každá třída měla šířku 5° . Poté byly četnosti dále porovnávány pomocí testu dobré shody χ^2 očekávanou hodnotou, která byla získána buď z teoretické distribuce, nebo byla napočtena z reprezentativního vzorku. Dle výsledku testu dobré shody bylo zjištěno, zda má směrová orientace vláken požadované rozložení či nikoliv. Tímto způsobem bylo zjištěno, zda má testovací okno shodnou směrovou orientaci s očekávanou orientací vláken. Testovacím oknem byl systematicky procházen celý obraz. Pokud bylo nalezeno testové okno, ve kterém bylo zjištěno odlišné rozložení směrů, než je očekávané rozložení, byla tato oblast označena červeným čtvercem v původním obraze.

Před aplikací navržené metodiky na obrazy netkaných textilií bylo třeba vyhodnotit efektivitu metodiky na obrazech, ve kterých bylo směrové rozložení vláken známé. K tomuto účelu byly vytvořené umělé obrazy simulovaného vlákenného systému. Vlákno jako objekt v digitálním obrazu si je možné představit jako celistvý délkový útvar, kde jeden rozměr je řádově větší než druhý. Pro účely generování byla vlákna nahrazena obdélníky, kde jedna strana obdélníka byla řádově větší než strana druhá. Obdélníky aproximující vlákna byly vytvořeny pomocí afinních operací, mezi které patří změna měřítka, posunutí a rotace. Měřítka bylo dané tak, aby délka strany ve směru jedné osy byla mnohonásobně větší než druhá. Koeficienty pro posunutí na ose x i y byly generovány z rovnoměrného rozložení na zadaném intervalu. Stejným způsobem byly generovány koeficienty pro rotaci. Tímto způsobem byly vytvořeny obrazy s rovnoměrným rozložením směrů objektů na intervalu $0^\circ - 180^\circ$, přičemž v některých obrazech byly vytvořeny oblasti s nerovnoměrným rozložením směrů a bylo testováno, zda je možné pomocí metodiky tyto oblasti určit.

Navržená metodika byla dále aplikovaná na generované obrazy. Výsledky prokázaly shodu mezi generovaným směrovým rozložením a vyhodnoceným směrovým rozložením pomocí navržené metodiky. V generovaných obrazech byly správně určeny oblasti s nehomogenním směrovým rozložením, které nebylo možné pouhým okem rozlišit. Schopnost metodiky rozlišit oblasti s nerovnoměrným rozložením je závislá na poměru mezi její velikostí a velikostí testového okna a na míře neshody směrového rozložení.

Dalším krokem bylo testování efektivity navržené metodiky na obrazech skutečné netkané textilie. Bylo prokázáno, že pomocí metodiky lze učinit dobrý odhad směrového rozložení vláken v netkané textilií. Při testování shody mezi očekávanou četností, získanou napočtením z nasnímaných vzorků, a výslednými četnostmi směru v jednotlivých testovacích oknech nebyla shoda prokázána. Hlavní problém při testování shody byla velikost testovacího okna.

Výhodou navržené metodiky je objektivní hodnocení směrového uspořádání vláken v ploše vlákenného systému. Doba vyhodnocení směrové orientace vláken pomocí navržené metodiky se pohybuje v řádech jednotek minut v závislosti na výkonnosti hardwaru, velikosti vyhodnocovaného obrazu, apod. Nevýhodou metodiky je její uplatnění pouze na tenkých vlákenných systémech, protože ke správnému vyhodnocení je nutné, aby byly na obrazu rozlišitelná všechna vlákna.

V další fázi výzkumu je třeba se zaměřit na zvýšení efektivity testování shody v obrazech reálných netkaných textilií. Především je třeba další výzkum pro určení velikosti testovacího okna. Dalším krokem vývoje metodiky by mělo být též určení mechanismu snímání obrazu netkané textilie při kontrole kvality.

Literatura

- [1] Tunak, M., Linka, A.: Analysis of Planar Anisotropy of Fibre System by Using 2D Fourier Transform. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, vol. 15, 64-65 (2007).
- [2] Štefaničová, Z.: *Směrová orientace vláknenných systémů*. Diplomová práce, TUL 2010.
- [3] Tunák, M., Antoch, J., Kula, J., Chvojka, J.: Estimation of Fiber System Orientation for Nonwoven and Nanofibrous Layers: Local Approach Based on Image Analysis. *Textile Research Journal*, 2013. Dostupné z: <http://trj.sagepub.com/content/early/2013/12/06/0040517513509852.full.pdf+html>.
- [4] Noorlander, M., Melis, P., Jonker, A. and Van Noorden, C.: A Quantitative Method to Determine the Orientation of Collagen Fibers in the Dermis. *The Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, vol. 50, 1469 – 1474 (2002).
- [5] Pourdeyhimi, B., Ramanathan, R., Dent, R.: Measuring Fiber Orientation in Nonwovens: Part I: Simulation. *Textile Research Journal*, vol. 66, 713-722 (1996).
- [6] Pourdeyhimi, B., Ramanathan, R., Dent, R.: Measuring Fiber Orientation in Nonwovens: Part II: Direct Tracking. *Textile Research Journal*, vol. 66, 747-753 (1996).
- [7] Pourdeyhimi, B., Ramanathan, R., Dent, R.: Measuring Fiber Orientation in Nonwovens: Part III: Fourier transform. *Textiles. Textile Research Journal*, vol. 67, 143-151 (1997).
- [8] Pourdeyhimi, B., Ramanathan, R., Dent, R.: Measuring Fiber Orientation in Nonwovens: Part IV: Flow Fields Analysis. *Textile Research Journal*, vol. 67, 181-187 (1997).
- [9] Dostalová, M., Křivánková, M.: *Základy textilní a oděvní výroby*. Skriptum. TUL 2004, s. 185, ISBN 80-7083-831-0.
- [10] Jirsák, O., Kalinová, K.: *Netkané textilie*. Skriptum. TUL 2003, s. 129, ISBN 80-7083-746-2.

- [11] Gonzales, R. C., Wood, R. E.: *Digital Image Processing*. 2nd edition, Prentice-Hall, 2002.
- [12] Holota, R.; Fiřt, J.. Digitalizace a zpracování obrazu [online]. 2002, [cit. 2014-01-10]. Dostupné z: <<http://home.zcu.cz/~holota5/publ/DigZprO.pdf>>.
- [13] Linka, A., Volf, P., Košek, M.: Zpracování obrazu a jeho statistická analýza: Digitalizace obrazu. E – learning.tul.cz [online]. 2008 [cit. 3.02.2014]. Dostupné z: <http://e-learning.tul.cz/cgi-bin/elearning/elearning.fcgi?ID_tema=67&ID_obsah=1176&stranka=publ_tema&akce=polozka_vstup>.
- [14] Anděl, J.: *Matematická statistika*. SNTL, Praha 1985.
- [15] Holota, R., Němeček, S.: Recognition of oriented structures by 2D Fourier Transform. *Applied Electronics 2002*, Pilsen, Czech Republic, 88 – 92, (2002).

Seznam příloh

Příloha č. 1 Zdrojové kódy programu Matlab

Zdrojový kód pro generování simulovaných vláknenných systému

```
function gen_vl(n,scx,scy,rot,trsx,trsy,gl,img)
for i=1:n
    X0Y0=[-1/2 -1/2; 1/2 -1/2;1/2 1/2;-1/2 1/2];
    sx=unifrnd(scx(1),scx(2));
    sy=unifrnd(scy(1),scy(2));
    Tscale=[sx 0 0; 0 sy 0;0 0 1];
    dx=unifrnd(0,trsx);
    dy=unifrnd(0,trsy);
    Ttranslation=[1 0 0;0 1 0;dx dy 1];
    alpha=unifrnd(rot(1),rot(2));
    Trotation=[cos(alpha) sin(alpha) 0; -sin(alpha) cos(alpha) 0;0 0 0
1];
    A=0;B=0;
    Tshear=[1 B 0;A 1 0;0 0 1];
    T=Tscale*Trotation*Ttranslation*Tshear;
    tform=maketform('affine',T);
    XY=tformfwd(X0Y0,tform);
    R=rand;G=rand;B=rand;
    C=unifrnd(gl(1),gl(2));
    fill(XY(:,1),XY(:,2),[C C C], 'edgecolor',[C C C]);hold on
end
set(gca,'color',[0 0
0], 'XTickLabel',[], 'YTickLabel',[], 'units','pixels',...
'units','normalized','position',[0 0 1 1], 'xlim',[0
trsx], 'ylim',[0 trsy]);
set(gcf, 'Position', [10 50 trsx trsy]);

if nargin==8
    Filename = img;
    export_fig(Filename);
end
close all
```

Zdrojový kód funkce orientace

```
function [h p]=testovani(I,vyrez,okno1,odr,ods,graf)

if size(I,3)>1
    I=rgb2gray(I);
end
vyrez=1000;
dor=odr+vyrez;
dos=ods+vyrez;
I=imcrop(I,[odr,ods,vyrez,vyrez]);
[r s]=size(I);
obr=zeros(size(I)-1);
obr1=zeros(size(I)-1);

okno2=okno1;
podil=1.1;
metoda='ellipse';
display='none';
```



```

histogr='on';
pt=36;
n=floor(vyrez/okno1)^2; % pocet oken

%% analiza smeru pro individualni podokna
% systematicky posun podokna po cele ploše obrazu, v pripade nahodneho
% vyberu - x=round(unifrnd(1,r-okno-1)); y=round(unifrnd(1,s-okno-1));
% pole - vysledky
pole1=[];
pole2=[];
cit=0;
for i=1:okno1:r-okno1
    for j=1:okno2:s-okno2
        cit=cit+1; % poradi podokna
        x=i;y=j; % souradnice LHR pro vyrez podokna
        I1=I(x:x+okno1-1,y:y+okno2-1);
        mask1 = fspecial('gaussian', okno1, okno1/3);
        mask2=imadjust(mask1,[min(mask1(:)) max(mask1(:))],[0 1]);
        I1=uint8(double(I1).*mask2);

        %%% Fourierova transformace
        dft = fft2(im2double(I1));
        sdft = fftshift(dft);
        spectrum = abs(sdft);

        %%% log transformace
        pspectrum = log(1+abs(sdft));
        % figure,imshow(pspectrum) % zobrazeni rot. vykonoveho spektra
        pspectrum=imrotate(pspectrum,90);

        %%% prahovani vykonoveho spektra
        IBW=pspectrum>(max(pspectrum(:))-max(pspectrum(:))*0.5);

        %%% vypocet charakteristik
        STATS=regionprops(double(IBW), 'All');
        DC=floor([(size(IBW, 1)+1 )/ 2, (size(IBW, 2)+1) / 2]);
        cx=DC(1);cy=DC(2);

        switch metoda
            case 'ellipse'
                if round(STATS.Orientation)>=0 &&
                    round(STATS.Orientation)<45
                    v1=okno2/2;

                    u1=round(okno1*tan(deg2rad(round(STATS.Orientation))))
                    /2;
                elseif round(STATS.Orientation)==45
                    u1=okno1/2;
                    v1=okno2/2;
                elseif round(STATS.Orientation)>45 &&
                    round(STATS.Orientation)<=90
                    v1=round(okno2/tan(deg2rad(round(STATS.Orientation))))
                    /2;
                    u1=okno1/2;
                elseif round(STATS.Orientation)==-45
                    u1=-okno1/2;
                    v1=okno2/2;
            otherwise
                u1=okno1/2;
                v1=okno2/2;
        end
    end
end

```

```

elseif round(STATS.Orientation)>=-45 &&
round(STATS.Orientation)<0

u1=round(okno1*tan(deg2rad(round(STATS.Orientation))))
/2;
v1=okno2/2;
elseif round(STATS.Orientation)>=-90 &&
round(STATS.Orientation)<=-45
v1=-
round(okno2/tan(deg2rad(round(STATS.Orientation))))/2
;
u1=-okno1/2;
end

if
(STATS.MajorAxisLength)/(STATS.MinorAxisLength)<podil
pomNAN=NaN;
else
pomNAN=(STATS.MajorAxisLength)/(STATS.MinorAxisLength
);
end

pole2=[pole2; cit x y j+okno2/2 i+okno1/2
(STATS.Orientation) u1 v1
(STATS.MajorAxisLength)/(STATS.MinorAxisLength)
pomNAN];

if
(STATS.MajorAxisLength)/(STATS.MinorAxisLength)<podil
obr(x:x+okno1-1,y:y+okno2-1)=zeros(okno1,okno2);
else obr(x:x+okno1-1,y:y+okno2-1)=STATS.Orientation;
end
end
end

end

%% Zobrazeni

switch metoda
case 'ellipse'
switch display
case {'map'}
figure,imshow(obr,[-90 90])
hold on
for k=1:cit
if pole2(k,9)>=podil
quiver(pole2(k,4),pole2(k,5),pole2(k,8),-
pole2(k,7),'r','LineWidth',2),hold on
quiver(pole2(k,4),pole2(k,5),-
pole2(k,8),pole2(k,7),'r','LineWidth',2),hold
on
end
end
colorbar('FontSize',16)
hold off
case {'original'}
figure,imshow(I,[])
hold on
for k=1:cit
if pole2(k,9)>=podil

```

```

        quiver(pole2(k,4),pole2(k,5),pole2(k,8),-
            pole2(k,7), 'r', 'LineWidth',2, 'MarkerSize',26),
            hold on
        quiver(pole2(k,4),pole2(k,5),-
            pole2(k,8),pole2(k,7), 'r', 'LineWidth',2, 'Marker
            Size',26),hold on
        end
    end
    hold off
case {'both'}
    figure,imshow(obr,[-90 90])
    hold on
    for k=1:cit
        if pole2(k,9)>=podil
            quiver(pole2(k,4),pole2(k,5),pole2(k,8),-
                pole2(k,7), 'r', 'LineWidth',2),hold on
            quiver(pole2(k,4),pole2(k,5),-
                pole2(k,8),pole2(k,7), 'r', 'LineWidth',2),hold
                on
            end
        end
    end
    colorbar('FontSize',16)
    hold off

    figure,imshow(I,[])
    hold on
    for k=1:cit
        if pole2(k,9)>=podil
            quiver(pole2(k,4),pole2(k,5),pole2(k,8),-
                pole2(k,7), 'r', 'LineWidth',2, 'MarkerSize',26),
                hold on
            quiver(pole2(k,4),pole2(k,5),-
                pole2(k,8),pole2(k,7), 'r', 'LineWidth',2, 'Marke
                rSize',26),hold on
            end
        end
    end
    hold off
    otherwise
end
switch histogr
case 'on'
    fs=10; % velikost fontu pisma
    hh1=pole2(:,6);%(find(pole2(:,6)~=0),6);
    hh1=sort(hh1);
    %figure,
    %graf=0;
    [nil c vyska]=histogramN(hh1,pt,graf);
    hh1P=[hh1-180; hh1; hh1+180];
    [f1,xil] = ksdensity(hh1P,'width',20);

    f1=f1(floor(1/3*length(f1)):floor(2/3*length(f
    1)))*3;

    xil=xil(floor(1/3*length(xil)):floor(2/3*length
    (xil)));
    if graf==1
        title('Density Histogram and Kernel
            Density Esitnation','FontSize',fs)
        xlabel('angle [deg]','FontSize',fs)
        hold on
    end
end

```

```

        plot(xi1,f1,'Color',[216/255 41/255
        0],'LineWidth',3)
        text(-80,0.03,['sub-window size='
        num2str(okno1) '* '
        num2str(okno2)],'FontSize',fs)
    end

    hh2=pole2(find(~isnan(pole2(:,10))),6);
    hh2=sort(hh2);
    %figure,
    [ni2 c2 vyska2 edges]=histogramN(hh2,pt,graf);
    hh2P=[hh2-180; hh2; hh2+180];
    [f2,xi2,u2] = ksdensity(hh2P,'width',20); %
    f2=f2(floor(1/3*length(f2)):floor(2/3*length(f2)
    ))*3;

    xi2=xi2(floor(1/3*length(xi2)):floor(2/3*length
    (xi2)));
    if graf==1
        title('Density Histogram and Kernel
        Density Estimation','FontSize',fs)
        xlabel('angle [deg]','FontSize',fs)
        hold on
        plot(xi2,f2,'Color',[216/255 41/255
        0],'LineWidth',3)
        text(-80,0.03,['sub-window size='
        num2str(okno1) '* '
        num2str(okno2)],'FontSize',fs)
    end
    otherwise
end

end

n=floor(vyrez/okno1)^2 % pocet oken
ni=(n/pt)
pi=ni/n
xi=ni2;
chi2test=sum(((xi-n*pi).^2)/(n*pi))
chi2krit=chi2inv(0.95,pt-1)
pval=1-chi2cdf(chi2test,pt-1)

edges=-90:180/pt:90;
expectedCounts = n/pt*ones(1,length(edges)-1) ;
[h,p,st] = chi2gof(hh2,'edges',edges,...
    'expected',expectedCounts)

```

Zdrojový kód funkce histogramN

```

function [ni tz vyska edges]=histogramN(x,pt,graf);
edges=-90:180/pt:90;
tz=-90+(180/(2*pt)):180/pt:90-(180/(2*pt));
[ni c]=histc(x,edges);
if ni(end)~=0
    ni(end-1)=ni(end-1)+ni(end);
end
ni(end)=[ ];
n=length(x);
relcet=ni/n;

```

```

h=180/pt;
vyska=ni/(n*h);
if graf==1
    figure
    hh=bar(tz,vyska,1,'FaceColor',[205/255 224/255
247/255]);%title('Density Histogram')
    axis([-90 90 0 max(vyska)+0.1*max(vyska)]);
    set(gca,'XTick',-90:180/pt:90);
end
s=sum(h.*vyska);

```

Zdrojový kód testovani_pasu

```

clear,clc,close all
I=imread('F7.jpg');
I=imresize(I,2);
if size(I,3)>1
    I=rgb2gray(I);
end
[r s]=size(I);
vyrez=1000;
okno1=50;
odr=1;
ods=1;
graf=0; % zobrazeni histogramu + ksd

vysledky=[];
cit=1;
for i=1:vyrez:s-vyrez
    for j=1:vyrez:r-vyrez
        [h p]=testovani(I,vyrez,okno1,i,j,graf)
        vysledky=[vysledky; cit i j h p];
        cit=cit+1;
    end
end
[idx]=find(vysledky(:,4)==1);

figure,plot(vysledky(:,5),'*'),hold on
plot(idx,vysledky(idx,5),'or')
plot(0:size(vysledky,1)+1,0.05*ones(size(vysledky,1)+2),'r--')
axis([0 size(vysledky,1)+1 -0.2 max(vysledky(:,5)+0.2)])
    title ('Graf p - hodnota')
    xlabel('Okno')
    ylabel('P-hodnota')

figure,imshow(I)

for k=1:length(idx)
    rectangle('Position',[vysledky(idx(k),2),vysledky(idx(k),3),vyre
z,vyrez],'linestyle','-','EdgeColor','r','LineWidth',3),hold on
end

```

Zdrojový kód napocteni_cetnosti_std

```
clear,clc,close all
statistika=[];
graf=0;
for k=1:9
    I=imread(['test' num2str(k) '.jpg']);
    I=imresize(I,2);
    if size(I,3)>1
        I=rgb2gray(I);
    end
    vyrez=1000;
    okno=30;
    pt=36;
    podilos=1.1;

    [r s]=size(I);

    cit=[];
    for i=1:vyrez:r-vyrez
        for j=1:vyrez:s-vyrez
            [pval xi2]=orientace(I,vyrez,i,j,okno,podilos,pt);
            statistika=[statistika,xi2];
            cit=cit+1
        end
    end

end

[r s]=size(statistika);
prumer=[];
for d=1:r
    p=mean(statistika(d,:));
    prumer=[prumer;p]; % očekávané hodnoty
end

tz=-90+(180/(2*pt)):180/pt:90-(180/(2*pt));
hh=bar(tz,prumer,1,'FaceColor',[205/255 224/255 247/255]);
set(gca,'XTick',-90:360/pt:90);
xlabel('úhel')
ylabel('Absolutní četnost')
```